

Počítačové zpracování fotografie

Computer processing of picture

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 7. květen 2010

.....

Za ochotné vedení, věcné rady a připomínky při vývoji aplikace bych rád poděkoval vedoucímu této diplomové práce doc. Ing. Lačezaru Ličevovi, CSc. Dále bych chtěl poděkovat MUDr. Ondreji Urbanovi za spolupráci, pořízení snímků a zpřístupnění endoskopického vybavení

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je seznámit se s problematikou pořizování snímků v medicíně, seznámit se systémem FOTOM 2008 a analyzovat jeho možnosti kalibrace medicínských snímků. Dále vytvořit nový postup kalibrace, který bude schopen omezit působení lidského faktoru využitím dostupných informací. Vytvořená metoda kalibrace bude schopna odstranit zkreslení objektivu a poskytne pravouhlý náhled na kalibrovanou oblast. Dále navrhnout a provést praktickou implementaci s jednoduchým uživatelským rozhraním ve formě modulu systému FOTOM 2009 a zhodnotit dosažené výsledky. Tato práce si bere za cíl rozšířit systém FOTOM 2009 o kalibrační modul a tím rozšířit jeho možnosti a využití.

Klíčová slova: fotogrammetrie, zpracování obrazu, kalibrace, distorze čočky, perspektiva, endoskop, FOTOM 2008, FOTOM 2009, platforma Netbeans, Java, JAI, XML

Abstract

The goal of this dissertation is get acquainted with problematic of taking medicine images, get acquainted with photogrammetric system FOTOM 2008 and analyse it's calibration capabilities. Furthermore create new calibration process, which can reduce human factor action by using available informations. Created calibration process can remove lens distorsion and provide orthogonal view at calibrated area. Furthermore create design and make practical implementatnion with simple user interface as FOTOM 2009 module and assess achieved results. This dessertation want to extend of system FOTOM 2009 by calibration module and by that extend it's scope of usage.

Keywords: photogrammetry, image processing, calibration, lens distorsion, perspective, endoscope, FOTOM 2008, FOTOM 2009, Netbeans platform, Java, JAI, XML

Seznam použitých zkratk a symbolů

API	– Application Programming Interface
BMP	– přípona souboru označující reprezentaci obrazu ve formě bitové mapy
GNU	– projekt zaměřený na svobodný software
GPL	– General Public License
GUI	– Graphical User Interface
JAI	– Java Advanced Imaging
JEE	– Java Enterprise Edition
UML	– Unified Modeling Language
XML	– Extensible Markup Language

Obsah

1	Úvod	4
2	Fotogrammetrie	5
2.1	Obor fotogrammetrie a oblasti využití	5
2.2	Fotogrammetrie v medicíně	5
2.3	Fotogrammetrický systém FOTOM	7
3	Určení oblasti kalibrace pomocí endoskopu	9
3.1	Popis problému	9
3.2	Definice kalibrované roviny plošného snímku	9
4	Návrh nové kalibrace	12
4.1	Proces kalibrace	12
4.2	Odstranění distorze objektivu	13
4.3	Předzpracování snímku	16
4.4	Odstranění perspektivy	18
4.5	Atributy kalibrace	26
4.6	Postup analýzy atributů sondy	27
5	Návrh s softwarová realizace kalibračního modulu	29
5.1	Návrh systému	29
5.2	Analýza systému FOTOM 2009	29
5.3	Volba softwarové technologie	33
5.4	Rozšíření API jádra systému o obecnou podporu atributů	34
5.5	Implementace modulů pro kalibraci snímků	34
6	Zhodnocení dosažených výsledků	46
6.1	Použitá snímací zařízení	46
6.2	Výsledky kalibrace	47
6.3	Dosažené výsledky	49
7	Závěr	51
8	Literatura	53
	Přílohy	53
A	Přílohy uloženy na CD	54

Seznam obrázků

1	Ukázka zachycení objektu z různé vzdálenosti	6
2	Ukázka kalibračního modulu FOTOM 2008	8
3	Ukázka endoskopu	10
4	Detail koncové části endoskopu	10
5	Naklonění a vzdálenost kalibrované roviny	11
6	Ukázka dvou typů snímků	12
7	Proces kalibrace	13
8	Radiální distorze obrazu	15
9	Ukázka odstranění bočního náklonu snímku	16
10	Původní snímek dutiny	17
11	Ukázka rozbalení snímku dutiny	17
12	Středové promítání	18
13	Základnice a horizont	20
14	Perspektivní pohled	20
15	Střed promítání a hlavní bod	21
16	Naklonění a vzdálenost kalibrované roviny v modelu	22
17	Metoda získání původních rozměrů oblasti snímku ve speciálním případě	22
18	Souřadnicový systém	23
19	Metoda získání původních rozměrů obecné oblasti snímku	25
20	Příklad nanesení rozměrů na původní čtyřúhelník	25
21	Ukázka vstupního snímku analýzy	27
22	Ukázka výstupního snímku analýzy	28
23	Diagram aktivit systému	30
24	Diagram případů užití	31
25	Diagram dílčích modulu kalibračního modulu	33
26	Diagram tříd pro rozšíření API o podporu atributů	35
27	Diagram aktivit perzistence atributů snímku	35
28	Třídní diagram modulu kalibračního API	37
29	Sekvenční diagram otevření nového kalibračního okna	39
30	Třídní diagram modulu kalibračního okna	39
31	Třídní diagram modulu kalibračních nástrojů	40
32	Ukázka palety nástrojů	41
33	Třídní diagram modulu kalibračních transformací	42
34	Třídní diagram manažera sond	44
35	Diagram aktivit manažera sond	45
36	Ukázka grafického okna manažera sond	45
37	Původní uměle vytvořený plošný snímek	47
38	Kalibrovaný uměle vytvořený plošný snímek	47
39	Původní laboratorní plošný snímek	48
40	Kalibrovaný laboratorní plošný snímek	48
41	Původní snímek dutiny	49
42	Kalibrovaný snímek dutiny	49

Seznam výpisů zdrojového kódu

1	Vyhledání všech poskytovatelů editace snímku	38
2	Registrace poskytovatele editace snímku modulem	38

1 Úvod

Tato diplomová práce se věnuje digitálnímu zpracování medicínských snímků pro účely následného měření. Definici a měření objektů na snímcích se zabývá vědní obor fotogrammetrie a cílem této práce je rozšířit možnosti fotogrammetrických metod o možnost provádění měření i v komplikovanějších případech, kdy na snímku nelze zachytit objekt v ideální poloze.

Práce je zaměřená na snímky v medicíně pořízené endoskopickou metodou, která umožňuje prohlédnutí vnitřních tělesných dutin nebo dutých orgánů. V prostředí tělesných dutin jsou značně omezené možnosti jak endoskopem zachytit měřičský fotogrammetrický snímek a v případě úzkých dutin je to prakticky nemožné. Tato práce se dále zabývá metodou kalibrace pořízených snímků za účelem vytvoření fotogrammetrického měřičského snímku.

Na fakultě elektrotechniky a informatiky VŠB TU Ostrava je vyvíjen fotogrammetrický systém FOTOM, který je neustále vylepšován a rozšiřován. Současný systém FOTOM 2009 vznikl v roce 2009 zpracováním nového návrhu jádra aplikace a přepracováním dvou základních modulů původního systému FOTOM 2008.

Nejdříve zde bude stručně popsána metoda fotogrammetrie a technika vzniku obecného snímku. Poté představím systém FOTOM 2008, analyzuji jeho možnosti kalibrace snímku a popíšu současné požadavky na atributy kalibrace. Dále představím vyvíjený FOTOM 2009, který je zaměřen na využití fotogrammetrických poznatků v medicíně a je cílovým systémem pro implementaci získaných poznatků z této diplomové práce.

V další kapitole budou popsány specifické vlastnosti endoskopického přístroje a bude navržena metoda získání skutečné pozice objektivu endoskopu vůči zájmové ploše v prostředí tělní dutiny.

Na základě získaných poznatků a kalibrační metody systému FOTOM 2008 se zde budu věnovat podrobnému návrhu nové metody kalibrace, která si bere za cíl minimalizaci lidského faktoru v procesu kalibrace použitím atributů kalibrace, které mají vazbu na konkrétní veličiny, pomocí kterých je možné provést jejich výpočet. Hlavním účelem kalibrace je připravit snímek pro následující fotogrammetrické měření, proto byl kladen důraz na rekonstrukci vztahu původních proporcionálních rozměrů kalibrované oblasti. Součástí navržené metody bude také postup získání potřebných atributů.

Poté se zde budu věnovat implementaci navržené metody prostřednictvím kalibračního modulu do systému FOTOM 2009. Nejdříve se zaměřím na analýzu požadavků na chování modulu, analyzuji API FOTOM 2009 a vytvořím systém dílčích modulů, které budou realizovat uživatelské rozhraní, způsob definice atributů kalibrační metody a provedení kalibrace vybraného snímku. Výsledný snímek pak bude možné použít všemi ostatními moduly systému FOTOM 2009 k fotogrammetrickému měření nebo dalšímu zpracování.

V závěru této práce provedu vyhodnocení výsledků, které byly dosaženy využitím implementace nové kalibrační metody do systému FOTOM 2009 na reálných snímcích i na snímcích, které vznikly využitím ideálního prostředí virtuální počítačové trojrozměrné scény a ověřím tak správnost úvah a použitelnost systému.

2 Fotogrammetrie

2.1 Obor fotogrammetrie a oblasti využití

Fotogrammetrie je vědní obor, zabývající se zpracováním informací na fotografických snímcích. Zabývá se rekonstrukcí tvarů, měřením rozměrů a určováním polohy předmětů, které jsou zobrazeny na snímku.

Vyznačuje se sběrem informací a měřením předmětů na měřičských snímcích. Na snímku je zachycen okamžitý stav předmětu. Měření se následně provádí v laboratoři nezávisle na aktuálním stavu předmětu. Výhodou fotogrammetrie je možnost měření kdykoli opakovat a ověřit tak možné nedostatky předchozího měření nebo pomocí dostupnosti nových technologií a metod, které se použitím informačních technologií v této oblasti neustále vyvíjejí a vylepšují, změřit předchozí hodnoty přesněji nebo s využitím nových postupů získat další hodnoty. V případech měření odlehklých a nepřístupných míst nelze ani jinou metodu použít. To poskytuje fotogrammetrii značnou výhodu na rozdíl od fyzického měření samotného předmětu. Fotogrammetrii lze rozdělit na podle polohy a typu snímače na:

pozemní fotogrammetrie je pro své vlastnosti nejvíce rozšířena v oblastech stavebnictví se zaměřením nejen na sledování postupy výstavby ale i následných změn, mezi které například patří měření pohybu mostů, pohyb stěn dutiny důlní šachty ale i sledování a dokumentace historických budov.

letecká fotogrammetrie zachycuje snímky krajiny využitím leteckých prostředků nebo satelitu a slouží k mapování nepřístupných míst a rozlehlých oblastí. Využívá se zejména k vytváření map.

2.2 Fotogrammetrie v medicíně

V lékařství se provádí mnoho typů vyšetření, při kterých jsou vytvářeny snímky. Metody pořizování snímku lze rozdělit na dva typy:

neinvazivní - snímky pořízené z vnějšího prostředí. Nejedná se pouze o snímky vnějších částí těla ale s využitím oboru fyziky lze například pomocí ultrazvuku, radiologie nebo počítačové tomografie (CT) získat snímky tkání, kostí a dokonce i mozku.

invazivní - snímky pořízené z prostředí tělní dutiny

Tato diplomová práce je zaměřena na oblast medicíny pořizující reálné fotografické snímky z vnějšího i z vnitřního prostředí.

2.2.1 Metoda a prostředky endoskopie

Endoskopie je metoda, prohlédnutí a pořízení snímků vnitřních tělesných dutin nebo dutých orgánů. Do těchto dutin se endoskop zavádí přirozenými otvory (např. ústy,

konečníkem, močovou trubicí) nebo otvory uměle pro tento účel vytvořenými, využívá se například při laparoskopických operacích.

Endoskopie provedena flexibilním přístrojem je pro pacienta poměrně málo náročná, je možné ji provést ambulantně a dle potřeby ji opakovat. Uplatňuje se nejen k identifikaci lékařských nálezů ale i v léčbě. Například odstranění polypů touto metodou zkracuje dobu nemoci a zmenšuje počet komplikací.

Jednotlivá vyšetření se pak nazývají podle vyšetřovaného orgánu (např. vyšetření žaludku - gastrokopie nebo vyšetření průdušek - bronchoskopie). Důležitou vlastností je kromě pohledu také možnost provedení odběru vzorků k dalšímu vyšetření. Odběr vzorků se provádí pomocí výsuvného ramena.

Endoskop využívá optický model běžné kamery obdobný lidskému vidění reálného světa. Obraz zaznamenává v digitální formě, takže může být okamžitě zobrazen a nahrán do počítače.

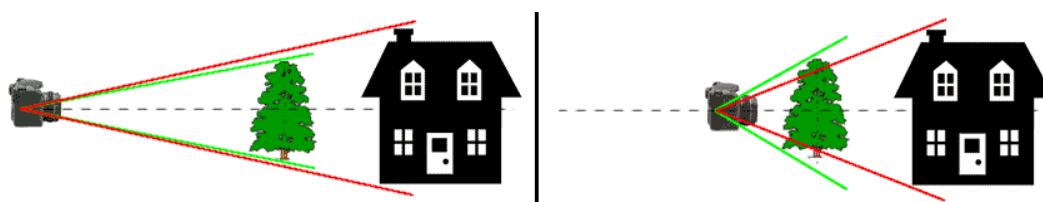
Více informací o historii endoskopie, typech vyšetření a přístrojů je uvedeno v dokumentu [11].

2.2.2 Model vzniku fotografie pořízené endoskopem

Vznik digitální fotografie Digitální fotografie vzniká promítáním obrazu přes systém optických čoček v objektivu na plochu senzoru. Světlo vstupuje objektivem a rozsah paprsků procházejících přes čočku je omezen velikostí otvoru optické soustavy - aperturou.

Optický model Geometrickým principem vzniku fotografie je středová projekce. Model respektuje vlastnosti perspektivy. Technikou středového promítání lze modelovat pořízení fotografie i lidské vidění reálného světa a takto vytvořené snímky poskytují díky perspektivě dobrý optický vjem.

Perspektiva Perspektiva je optický jev, který způsobuje proporcionální změnu předmětů při vzrůstající vzdálenosti od pozorovatele. Působením perspektivy se vzdálené objekty jeví menší a užší, ukázka tohoto chování je na obrázku 1. Toto chování je také příčinou sbíhání dvou reálně rovnoběžných linií v jednom projektivním bodě.



Obrázek 1: Ukázka zachycení objektu z různé vzdálenosti

2.3 Fotogrammetrický systém FOTOM

2.3.1 FOTOM 2008

FOTOM 2008 je komplexní fotogrammetrický systém vyvíjený na fakultě informatiky FEI VŠB TU Ostrava od roku 2001. Systém byl původně určen k proměřování profilů důlních jam ale s dalším vývojem přibývaly další moduly, které rozšiřovaly rozsah a možnosti použití systému. FOTOM 2008 se v současnosti skládá z několika modulů, které se zabývají jednotlivými problematikami fotogrammetrie [1].

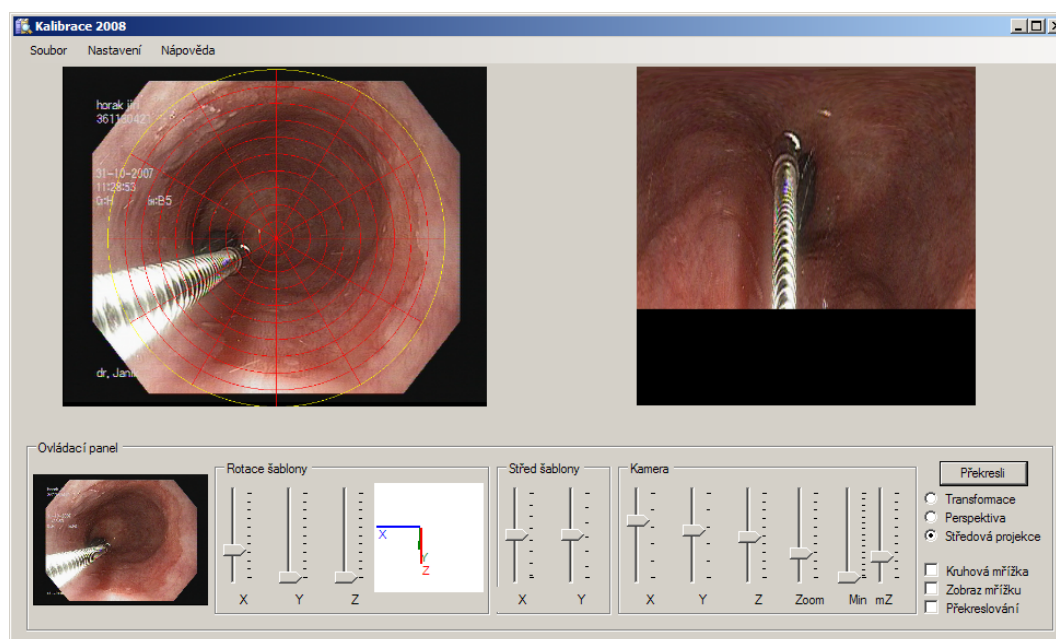
- FOTOM1 - se zabývá orientací na snímku a definicí zájmových objektů
- FOTOM2 - slouží k sledování změn parametrů na skupině snímků a tvorbě grafů
- FOTOM3 - poskytuje trojrozměrnou vizualizaci zájmových objektů na sérii snímků
- FOTOM4 - slouží pro animaci snímků v sérii
- FOTOM5 - je modul vytvořený pro zpracování odchylek hodnot parametrů zájmových objektů od průměrných hodnot
- FOTOM6 - slouží k porovnávání dvou měření provedených na stejném objektu

Kalibrační modul systému FOTOM 2008 Jeden z vyvíjených modulů pro FOTOM 2008 se zabývá možností kalibrace snímku. Jeho hlavním účelem bylo ověření použitelnosti kalibrace na snímcích. Tento modul se zabývá dvěma typy kalibrací:

- plošné perspektivy
- středové projekce

Modul **Kalibrace2008** prokázal základní poznatky o možnosti kalibrování prostorových snímků a implementoval unikátní metodu „rozbalení“ středové projekce a stal se výchozím zdrojem informací pro další rozvoj kalibračních metod, kterou se zabývá i tato práce. Ukázka kalibračního modulu FOTOM 2008 je na obrázku 2.

Cíle dalšího vývoje Velkou nevýhodou systému je nastavování atributů. Všechny atributy jsou nastavovány odhadem pomocí omezených posuvných komponent bez možnosti číselného zadání, nelze ani stejnou kalibraci znovu opakovat. Není určen žádný vztah mezi atributy a reálnými hodnotami, pomocí kterých by se dali určit nebo vypočítat. Tato diplomová práce je dalším vývojovým stupněm kalibrační metody, využívá ověřených poznatků s cílem minimalizovat působení lidského faktoru na nastavení atributů. Zpracovává novou metodu kalibrace (viz. kapitola 4), která do svého procesu zahrnuje i postupy pro odstranění zkreslení snímku objektivem se zaměřením na kalibraci snímků v medicíně.



Obrázek 2: Ukázka kalibračního modulu FOTOM 2008

2.3.2 FOTOM 2009

Systém FOTOM 2009 je další vývojovým stupněm fotogrammetrického systému FOTOM 2008. FOTOM 2009 vznikl v roce 2009 jako reakce na absenci API systému FOTOM 2008 a tím spojenou obtížnou rozšiřitelnost. Systém FOTOM 2009 je plně modulární systém jehož základem je platforma NetBeans, respektuje požadavky na moderní systém a poskytuje přívětivé uživatelské rozhraní. Poskytuje robustní API a možnost přidání zásuvných modulů. API nabízí jednotný přístup ke snímku, který je realizován použitím JAI, určuje způsob komunikace mezi moduly a definuje rozhraní pro vkládání nástrojů na snímek [4]. Z důvodu zachování zpětné kompatibility systém umožňuje spouštění původních modulů FOTOM 2008 jako externích programů a umožňuje export snímku do starého formátu.

FOTOM 2009 vznikl se zaměřením na využití poznatků fotogrammetrie v medicíně a nyní obsahuje dva přepracované moduly:

- modul pro definici a měření objektů
- modul skicování

Systém FOTOM 2009 je cílovým systémem pro implementaci nově vyvíjené kalibrační metody (viz. kapitola 5), který rozšířením o možnosti kalibrace získá i nové možnosti svého využití.

3 Určení oblasti kalibrace pomocí endoskopu

Tato práce je zaměřena na kalibraci snímků pořízených flexibilním endoskopem s výsuvným ramenem. Rameno pro odběr vzorků se vysouvá do oblasti pohledu přístroje a dále popsaná metoda kalibrace vychází z myšlenky využít jeho přítomnost na snímku.

3.1 Popis problému

Výstupem kalibrace je dvourozměrný snímek nabízející rovnoběžný pravoúhlý pohled shora na zájmovou plochu. Dvourozměrností snímku vzniká omezení proporcionálně zobrazit pouze jednu rovinu prostoru, který je zachycen na vstupním snímku. Prostor zachycený na snímku může obsahovat nekonečně mnoho rovin. Z oddílu 4.4.2 jasně vyplývá, že pro úspěšnou rekonstrukci perspektivy musí být kalibrovaná rovina přesně definována.

Nedílnou součástí této práce je návrh určení kalibrované roviny v prostoru. Snahou bylo vyřešit problém získání potřebných parametrů využitím technických možností endoskopu. Byla provedena analýza možností, která zahrnovala studování endoskopických snímků, osobní schůzky s panem primářem MUDr. Ondřejem Urbanem na endoskopickém pracovišti a seznámení se s technickými možnostmi samotného přístroje.

Bylo třeba nejen definovat rovinu, která se bude kalibrovat ale také zavést způsob jak tuto rovinu zadat.

Rovina je obecně dána:

- bodem a jedním normálovým vektorem
- bodem a dvěma směrovými vektory
- třemi body

3.2 Definice kalibrované roviny plošného snímku

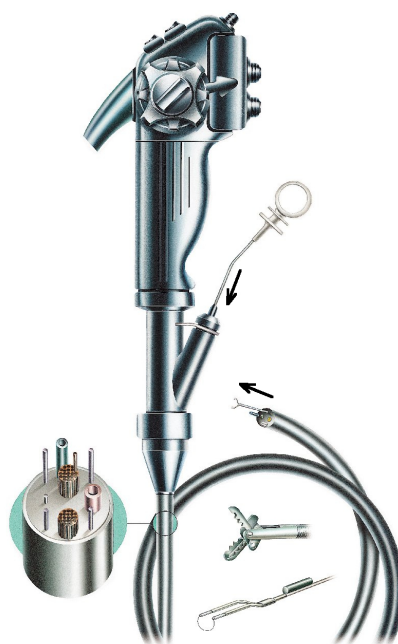
3.2.1 Vlastnosti výsuvného ramena endoskopu

Výsledkem analýzy možností endoskopu je zjištění, že výsuvné rameno lze při kalibraci velmi dobře použít hned několika způsoby. Ukázka endoskopu a umístění výsuvného ramena je uvedena na obrázku 3 a detail koncové části na obrázku 4.

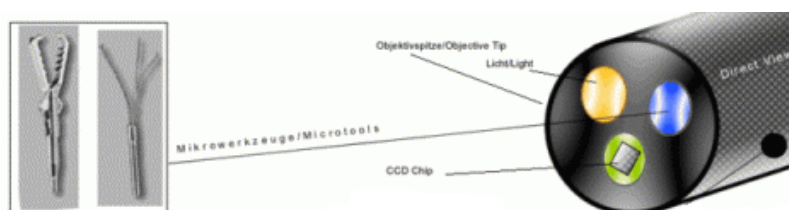
Důležitými vlastnostmi endoskopu jsou:

- objektiv endoskopu je na konci trubice přístroje
- rameno lze vysunout dle potřeby
- rameno nelze směřovat do stran¹, vysunuté rameno vždy směřuje do zorného pole objektivu a je téměř rovnoběžné s optickou osou objektivu.

¹koncovou část endoskopu lze směřovat pouze celou, tj. směr mění současně rameno i objektiv a vztah mezi nimi zůstává zachován



Obrázek 3: Ukázka endoskopu



Obrázek 4: Detail koncové části endoskopu

3.2.2 Určení vzdálenosti

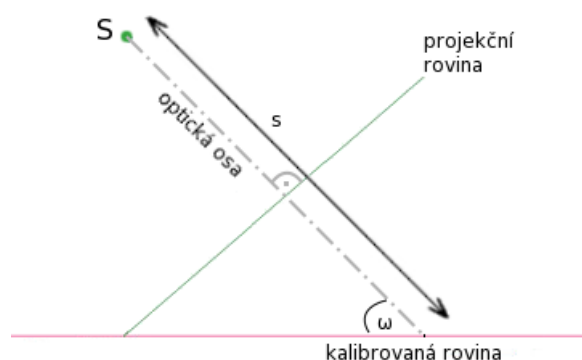
Při vytváření snímku je nutné vysunout rameno o známou délku a dotknout se zájmové plochy. V takovém případě délka vysunutého ramena určuje vzdálenost kalibrované roviny od objektivu, tím je určen a změřen jeden z nejdůležitějších parametrů kalibrační metody. Způsob vysouvání ramena endoskopu je naznačeno na obrázku 3.

3.2.3 Určení bočního náklonu roviny

Konec výsuvného ramena je vybaven malými kleštěmi pro odebírání vzorků (viz. obrázek 4). Položením ramena s rozevřenými hroty kleští na zájmovou plochu lze definovat dva body, které sice přímo kalibrované rovině nenáleží ale umožňují definovat jeden směrový vektor roviny. Navíc je tento vektor kolmý na směr pohledu objektivu. Této vlastnosti se využívá ve fázi předzpracování plošného snímku blíže popsané v kapitole 4.3.1. Ukázka definice a odstranění bočního náklonu je znázorněna na obrázku 9.

3.2.4 Určení chybějícího druhého směrového vektoru

K určení kalibrované roviny je zapotřebí definovat ještě druhý směrový vektor. Ten nelze odvodit z jediného snímku a musí být zadáván uživatelem při kalibraci každého snímku. Zadávání druhého směrového vektoru probíhá formou odhadu úhlu mezi kalibrovanou rovinou a pohledem objektivu. Situace je znázorněna na obrázku 19, kde je vzdálenost s určena délkou vysunutého ramena a úhel ω je předmětem odhadu.



Obrázek 5: Naklonění a vzdálenost kalibrované roviny

4 Návrh nové kalibrace

4.1 Proces kalibrace

4.1.1 Typy zpracovávaných snímků

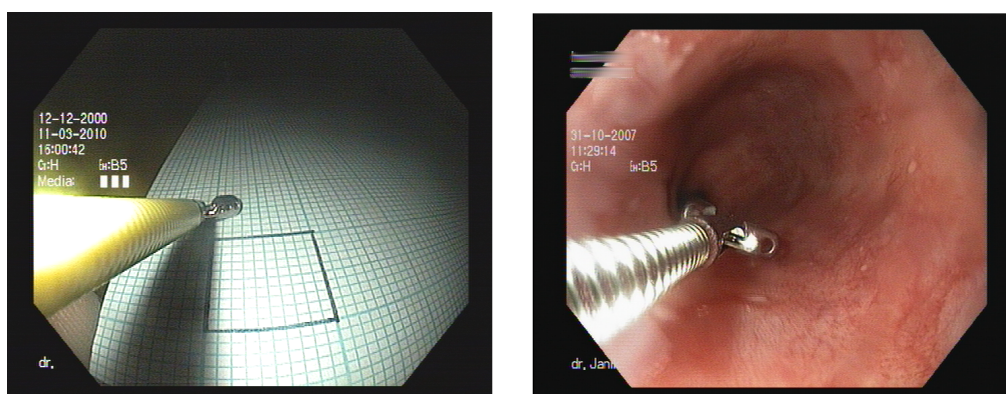
Kalibrace je zaměřena na dva druhy snímků.

plošné snímky zahrnují kalibrace obecných prostorových snímků, kdy je kalibrovaná plocha na snímku zachycena jako rovina. K aplikaci této metody je nutné přesně definovat, která rovina zachycená na snímku bude předmětem kalibrace. Ukázka plošného snímku je na obrázku 6 vlevo.

snímky dutiny zahrnují kalibrace specifických snímků vytvořené uvnitř dutého válce jehož vnitřní plocha je zachycena na snímku a právě tato vnitřní plocha je zájmovým útvarem určeným ke kalibraci. Ukázka takového snímku je na obrázku 6 vpravo.

Postup nalezne využití například při kalibraci snímků pořízených endoskopem přímo v těle pacienta, kdy je lékařský nález rozprostřen po stěnách.

V případě, že oblastí zájmu není celá vnitřní plocha válce a zakřivení stěny dutiny se v kalibrované oblasti významně neprojevuje, lze na takto omezenou plochu použít i obecnou kalibraci plošného snímku.



Obrázek 6: Ukázka dvou typů snímků

4.1.2 Návrh procesu kalibrace

Proces kalibrace bude probíhat ve třech fázích:

- odstranění distorze objektivu
- předzpracování snímku
- odstranění perspektivy

Sekvence prováděných kroků kalibrace je znázorněn na obrázku 7.



Obrázek 7: Proces kalibrace

4.2 Odstranění distorze objektivu

Účelem tohoto kroku je zbavit snímek nežádoucích optických jevů, které jsou způsobeny fyzikálními vlastnostmi objektivů. Práce se zabývá snímky v medicíně a přístroje, které je pořizují nejsou zaměřeny na fotogrammetrické použití. Aby bylo dosaženo lepších výsledků kalibrace musí se část procesu zabývat odstraněním těchto distorzí. Při kalibraci každého reálného snímku je třeba nejdříve odstranit dvě hlavní složky distorze:

- **decentralizace optické osy** - odchylka optické osy objektivu od středu snímku
- **radiální distorze objektivu**

Podrobnější popis postupů je uveden v dokumentu [3].

4.2.1 Odstranění decentralizace optické osy oříznutím snímku

V reálném prostředí neprochází optická osa naprosto přesně středem snímku. U fotogrammetrických přístrojů je odchylka udávána výrobcem ve formě konstanty. Oříznutím snímku je umožněno vytvořit nový střed snímku a takto nahradit konstantu odchýlení optické osy. Oříznutí snímku je zařazeno jako první prováděná transformace se snímek, protože zvolení správného středu snímku má vliv na výsledky všech následujících operací.

4.2.2 Odstranění radiální distorze objektivu

V tomto kroku se radiální distorzí neuvažuje působení změny faktoru zvětšení se vzrůstající vzdáleností od optických os ale působení širokého zorného úhlu, který využívá tento typ zkreslení jako způsob projekce nekonečně široké roviny na konečnou plochu snímku. Takové optické soustavy bývají nazývány „rybí oko“.

Zkreslení je většinou radiálně symetrické ale může být i nepravidelné, to závisí na symetrii čočky.

Obecně lze radiální distorzi rozdělit do dvou kategorií:

- soudkovité zkreslení
- poduškovité zkreslení

Působení radiální distorze je znázorněno na obrázku 8 pomocí jednoduchého rastru.

- (a) rastr
- (b) poduškovité zkreslení
- (c) soudkovité zkreslení

Rybí oka se dělí na dva typy

- **kruhové**, které zobrazují scénu v polokouli
- s označením **Full-frame**, ty používají rozšířené zobrazení polokoule tak aby byla pokryta celá plocha snímku.

Všechny typy čoček s širokým zorným úhlem ohýbají rovné linie a podléhají soudkovitému zkreslení. Tuto radiální distorzi lze odstranit použitím Brownova modelu distorze [10], který umožňuje odstranění obou typu zkreslení.

4.2.3 Algoritmizace

Model Distorzi lze softwarově odstranit zkreslením obrazu opačnou distorzí. To zahrnuje určení jaký zkreslený pixel odpovídá nezkreslenému pixelu, což není triviální z důvodu nelinearity modelu distorze. Navržený postup vychází z je Brownova modelu distorze [10] a využívá modifikovaný vzorec zaměřený pouze na odstranění soudkovitého zkreslení s možností přiblížení, která se používá v případě příliš velkého zkreslení, kdy dochází k zacyklení postranních linií.

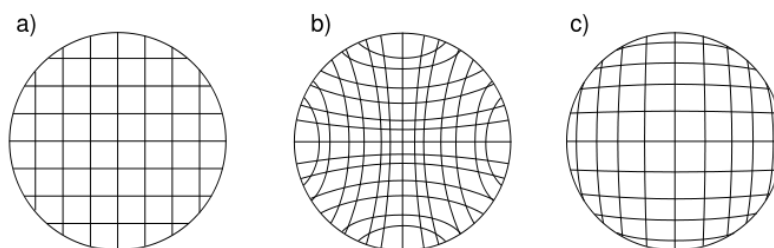
Použitá rovnice:

$$x_u = x_d + (x_d - x_c) Z(K_1 r^2 + K_2 r^4) \quad (1)$$

$$y_u = y_d + (y_d - y_c) Z(K_1 r^2 + K_2 r^4) \quad (2)$$

kde:

- (x_u, y_u) = nezkreslený bod obrazu
- (x_d, y_d) = zkreslený bod obrazu
- (x_c, y_c) = střed distorze (zkreslení)
- (K_1, K_2) = koeficienty distorze
- (Z) = koeficient přiblížení



Obrázek 8: Radiální distorze obrazu

Atributy

- **hlavní** - koeficient K_1 , je hlavním parametrem určující míru zkreslení
- **vedlejší** - koeficient K_2 , má efekt zaměřený na korekci postranních částí snímku
- **přiblížení** - používá se v případě příliš velkého zkreslení (vysokých hodnot koeficientů), kdy dochází k zacyklení postranních linií. Principem je, že tvar osnovy se nemění ale přiblížením se rovnoměrně rozšíří a tím změní působení koeficientu modelu distorze na pixely.

4.2.4 Další vady objektivů

Při průchodu paprsku optickou soustavou vznikají odchylky od ideálního zobrazení způsobené vlastnostmi a vlnovou povahou světla. Takové odchylky se nazývají aberace. Žádná čočka se nechová ideálně, proto na snímku mohou vznikat různé vady a deformace.

Příkladem aberací jsou:

- barevná vada neboli chromatická aberace
- sférická (též kulová nebo otvorová) vada
- astigmatická vada
- koma
- radiální distorze

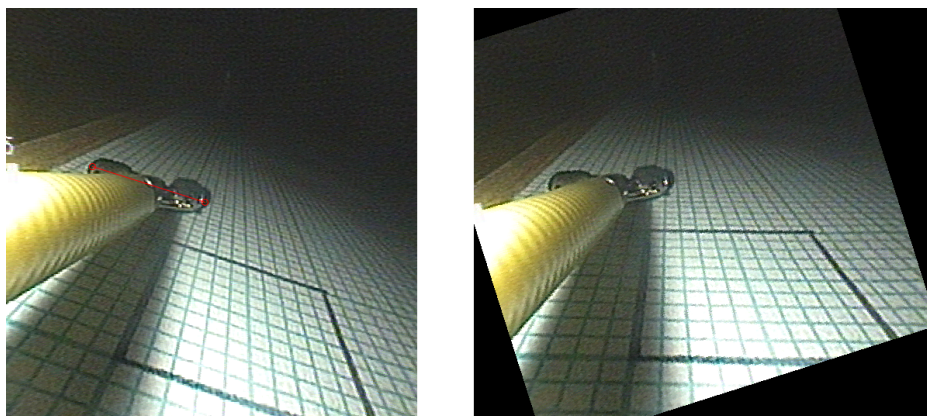
Tyto vady přímo závisí na použitém přístroji a nejsou předmětem kalibračních operací, předpokládá se, že jsou úplně nebo alespoň částečně odstraněny strukturou optické soustavy přístroje. Struktura optické soustavy většinou podléhá utajení jednotlivých výrobců a neskládá se jen z jedné čočky.

4.3 Předzpracování snímku

Účelem fáze předzpracování je připravit snímek pro proces odstranění perspektivy. Postup předzpracování snímku se liší v závislosti na tom, zda se jedná o typ plošného snímku nebo snímku dutiny jak je znázorněno na obrázku 7 diagramem aktivit procesu kalibrace.

4.3.1 Předzpracování plošného snímku

Provedení tohoto korku je nepovinné. Vstupním atributem je boční náklon roviny. Způsobem jeho definování se zabývá kapitola 3.2.3. Fáze předzpracování nabízí možnost využití definice náklonu a provést rotaci snímku okolo jeho středu. Tím odstraní boční náklon kalibrované roviny a zjednoduší výpočty odstranění perspektivy. Ukázka odstranění bočního náklonu je zobrazena na obrázku 9.



Obrázek 9: Ukázka odstranění bočního náklonu snímku

Algoritmizace Provede rotaci podle středu snímku o určený úhel.

Použitá rovnice rotace pixelu:

$$xp = (x - S_x) * \cos(\alpha) - (y - S_y) * \sin(\alpha) + S_x \quad (3)$$

$$yp = (x - S_x) * \sin(\alpha) + (y - S_y) * \cos(\alpha) + S_y \quad (4)$$

kde:

α = odpovídá velikosti úhlu rotace

(xp, yp) = transformovaný bod obrazu

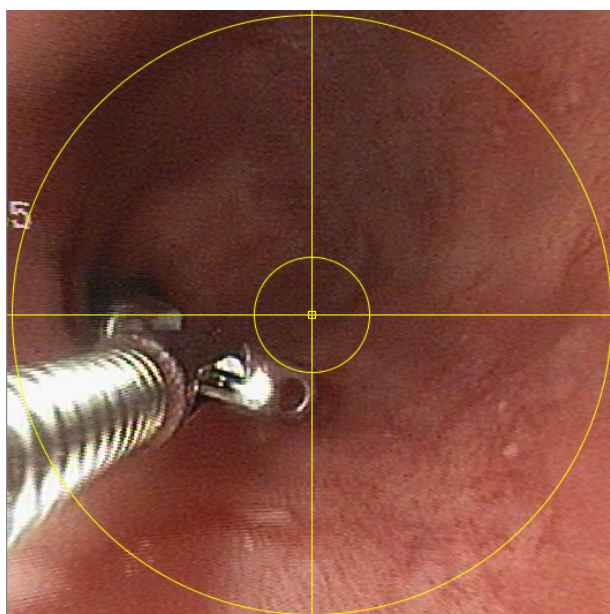
(x, y) = původní bod obrazu

(S_x, S_y) = střed rotace

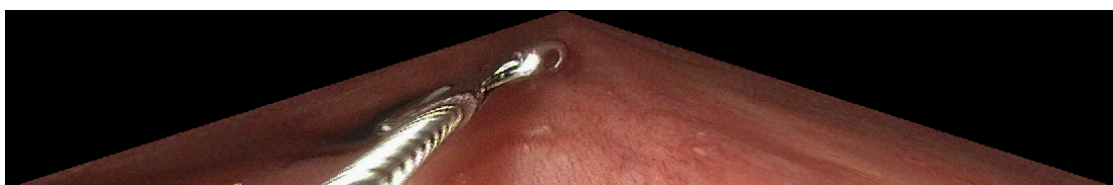
4.3.2 Předzpracování snímku dutiny

Pro předzpracování snímku dutiny je využita unikátní metoda „rozbalení“ pomoci soustředných kružnic [2]. Tato transformace slouží k převedení vnitřní plochy dutiny do jedné roviny. Zde je využita modifikovaná verze původního osvědčeného postupu, který je již využíván v systému FOTOM 2008.

Transformace je zadána jednou kružnicí, to znamená musí být definován střed dutiny a poloměr kružnice na snímku, který vymezuje začátek zájmové oblasti. Vstupem je tedy kružnicí definovaná vnitřní plocha dutiny a výstupem je snímek obsahující tuto plochu zobrazenou v jedné rovině. Výsledek rozbalení snímku 10 je znázorněno na obrázku 11.



Obrázek 10: Původní snímek dutiny



Obrázek 11: Ukázka rozbalení snímku dutiny

Algoritmizace Principem transformace je převod pixelů umístěných na kružnici do rovného řádku obrazu a následné zmenšení poloměru kružnice o jeden pixel a opakování převodu dokud není poloměr kružnice nulový.

Použitá rovnice převodu pixelů umístěných na kružnici do rovného řádku:

$$xp = kx - \cos((2 * \pi / \text{obvod_kruznice}) * x - \pi/2) * y \quad (5)$$

$$yp = ky - \sin((2 * \pi / \text{obvod_kruznice}) * x - \pi/2) * y \quad (6)$$

kde:

obvod_kruznice = odpovídá délce obvodu v pixelech aktuálně zpracovávané kružnice

(xp, yp) = transformovaný bod obrazu

(x, y) = původní bod obrazu

(kx, ky) = střed kružnice

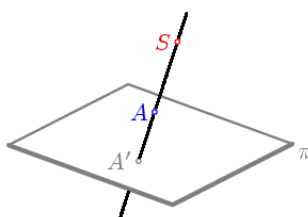
4.4 Odstranění perspektivy

Způsob vytvoření fotografie odpovídá způsobu zobrazení objektů metodou středového promítání, proto zachycené objekty na snímku podléhají perspektivnímu jevu.

Účelem tohoto procesu je odstranění perspektivy dané plochy a nabídnout tak rovnoběžný pravoúhlý pohled shora na kalibrovanou rovinu. K realizaci je použit postup zpětné rekonstrukce čtyř určujících bodů a nového zobrazení zachycené plochy aplikací inverzní perspektivní transformace.

4.4.1 Definice zájmových geometrických objektů

Zájmové objekty středového promítání Středové promítání je dáno **středem promítání** S a **projekční rovinou** π , které jsou znázorněny na obrázku 12.



Obrázek 12: Středové promítání

Zájmové objekty perspektivy K rekonstrukci zachycené perspektivy je mimo parametrů středového promítání potřeba znát ještě vzdálenost kalibrované roviny od středu promítání resp. od objektivu a její naklonění znázorněné na obrázku 16, kdy s označuje vzdálenost a ω potřebný úhel.

Perspektivu roviny zachycené na snímku lze určit pomocí těchto zájmových objektů

- **střed promítání**
- **hlavní bod**
- **horizont** - přímka, definovaná jako množina všech úběžníků přímk ležících na kalibrované rovině s výjimkou přímk rovnoběžných se základní přímkou.
- **základnice** (základní přímka) - také nazývána jako stopa, je definovaná jako množina průsečíků projekční roviny a všech přímk ležících na kalibrované rovině s výjimkou přímk rovnoběžných s projekční rovinou.

K úspěšné rekonstrukci perspektivy je potřeba získat všechny zmíněné objekty.

4.4.2 Analýza zájmových objektů

Aby bylo možné určit atributy perspektivy je důležité definovat protějšky zájmových geometrických objektů v reálném světě.

Střed promítání Střed promítání je rekonstrukcí pozice reálného postavení objektivu v době pořízení snímku.

Projekční rovina Všechny body snímku náleží projekční rovině. Projekční rovina je dvourozměrným prostorem, ve kterém síť pixelů snímku tvoří dvourozměrný podprostor.

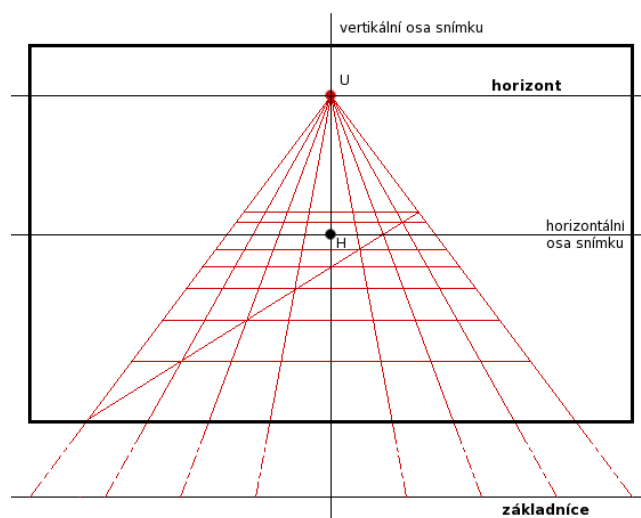
Hlavní bod Pro geometrické získání hlavního bodu je použita kolmice spuštěná ze středu promítání na projekční rovinu. Hlavní bod je definován jako průsečík této kolmice a promítací roviny. Z fyzikálního pohledu se jedná o definici optické osy procházející středem objektivu a bodem roviny. Vztah mezi středem promítání a hlavním bodem je znázorněn na obrázku 15, kde S je střed promítání a H je označení hlavního bodu.

Základnice a horizont Základnice a horizont jsou rovnoběžné přímky ležící na projekční rovině znázorněné na obrázku 13. Základnice je průsečnice kalibrované roviny s projekční rovinou. Horizont je průsečnice projekční roviny s posunutou kalibrovanou rovinou, která musí být posunuta tak, aby procházela středem promítání.

K určení horizontu a základnice na snímku je tedy nutné znát přesnou definici kalibrované roviny.

Ve speciálním případě, kdy je kalibrovaná rovina kolmá na projekční rovinu, horizont prochází hlavním bodem ale k určení základnice je stále potřeba znát přesnou pozici roviny.

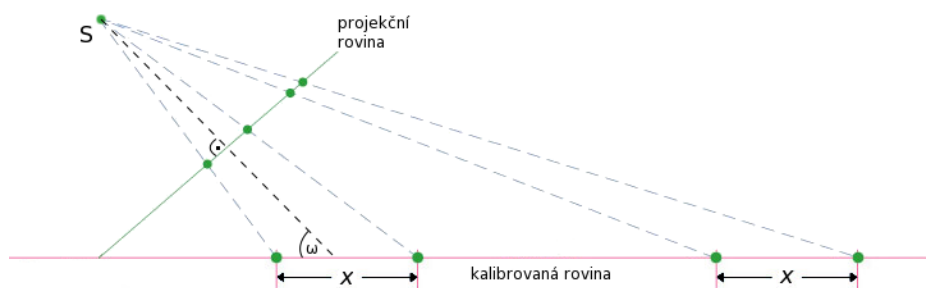
Základnice i horizont se mohou nacházet na projekční rovině mimo oblast snímku.



Obrázek 13: Základnice a horizont

4.4.3 Tvorba digitálního modelu

Vytvořený model scény musí respektovat vlastnosti perspektivy a být nastaven tak aby perspektiva čím jak nejlépe odpovídala perspektivě kalibrované roviny, protože na přesnosti nastavení závisí přesnost kalibrace. Ukázka modelu je znázorněna na obrázku 14.



Obrázek 14: Perspektivní pohled

Pozice projekční roviny a hlavní bod Projekční rovina je dána hlavním bodem a zvoleným vektorem. Pro zjednodušení výpočtů je hlavní bod umístěn do počátku souřadnicového systému a směr normálového vektoru projekční roviny se shoduje se směrem třetí osy souřadnic (obrázek 18).

Optická osa a střed promítání Optická osa prochází hlavním bodem a je kolmá na projekční rovinu, důsledkem tohoto vztahu je normálový vektor projekční roviny shodný se směrovým vektorem optické osy. Směr optické osy udává i směr pohledu.

Střed promítání leží na optické ose a jeho vzdálenost od projekční roviny plně závisí na nastavených parametrech použité optické soustavy přístroje v době pořízení snímku. Vzdálenost je předmětem výpočtu na základě šířky získaného snímku a velikosti zorného úhlu objektivu.

$$s_i = \operatorname{tg}(FOV/2) A/2 \quad (7)$$

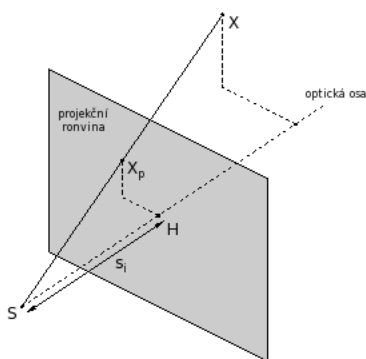
kde:

A = šířka snímku v pixelech

FOV = zorný úhel objektivu

s_i = vzdálenost projekční roviny od středu promítání v pixelech

Střed promítání je vypočten posunutím hlavního bodu proti směru normálového vektoru projekční roviny o vypočtenou vzdálenost. Výsledná situace je znázorněna na obrázku 15.



Obrázek 15: Střed promítání a hlavní bod

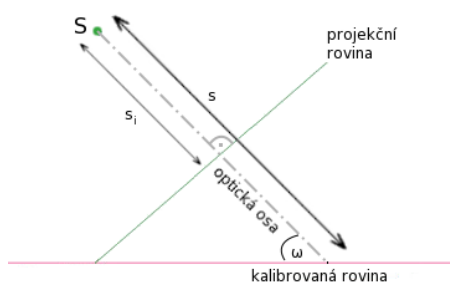
Kalibrovaná rovina Definice kalibrované roviny se liší podle typu kalibrovaného snímku. Pro kalibraci plošného snímku je kalibrovaná rovina definována podle kapitoly 3.2 a jsou známy atributy vzdálenost kalibrované roviny s od středu promítání a úhel náklonu roviny ω ve směru optické osy.

Atribut vzdálenosti je ovšem z reálného prostředí a je znám pouze milimetry, proto je pro funkčnost modelu nezbytné definovat poměr mezi délkou jednoho pixelu a jednoho milimetru a vzdálenost s přepočítat.

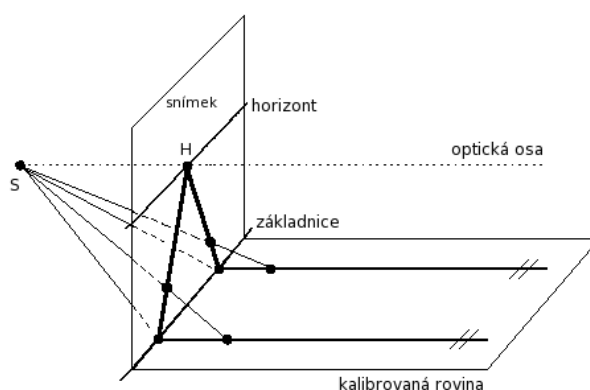
Posunutím středu promítání ve směru optické osy o vzdálenost kalibrované roviny v pixelech získáme bod a rotací směrového vektoru optické osy o úhel náklonu získáme normálový vektor. Tímto je v modelu přesně definována kalibrovaná rovina. Pozice je znázorněna na obrázku 16.

Pokud je ovšem zvolen snímek dutiny předpokládá se, že kalibrovaná vnitřní stěna dutiny leží rovnoběžně s optickou osou, tudíž vzdálenost je nekonečná a úhel je nulový.

V takovém případě je rovina zpětně definována horizontem procházejícím hlavním bodem a stanovenou základnicí totožnou se spodní stranou snímku. Tato situace je znázorněna na obrázku 17.



Obrázek 16: Naklonění a vzdálenost kalibrované roviny v modelu



Obrázek 17: Metoda získání původních rozměrů oblasti snímku ve speciálním případě

Pseudo-souřadnice bodů snímku K určení pozice hlavního bodu na snímku definujeme všechny body snímku jako body projekční roviny, které vznikly projekcí bodů reálného světa ležících v pravidelném zorném kuželu objektivu. Pak za ideálních² podmínek prochází optická osa středem snímku a můžeme střed snímku prohlásit za hlavní bod. V takovém případě lze pozici hlavního bodu na snímku získat výpočtem matematického středu snímku.

Hlavní bod je definován v doméně trojrozměrného modelu a tímto postupem i v doméně dvojrozměrného snímku a stává se bodem vnitřní orientace. Slouží jako referenční bod pro určení pozice bodů snímku vůči středu promítání.

²v reálném prostředí hlavní bod neleží naprosto přesně na optické ose. U fotogrammetrických přístrojů je odchylka udávána výrobcem a bývá velmi malá

Střed dvourozměrného souřadnicového systému snímku je přesunut z levého horního rohu do jeho středu. Přepočítání nových souřadnic probíhá podle vztahu:

$$x = A_x - S_x \quad (8)$$

$$y = A_y - S_y \quad (9)$$

$$z = 0 \quad (10)$$

kde:

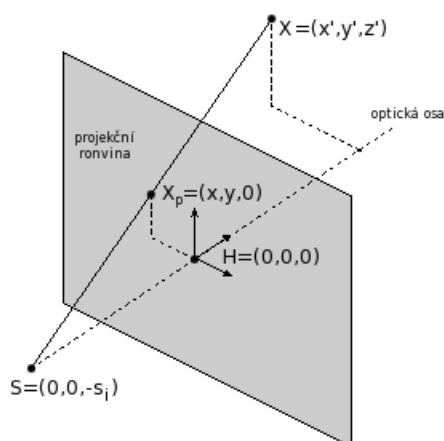
(A_x, A_y) = původní souřadnice pixelu snímku

(S_x, S_y) = původní souřadnice středu snímku

(x, y, z) = souřadnice pixelu snímku v modelu

$(0, 0, 0)$ = nové souřadnice středu snímku

Dvourozměrné souřadnice každého bodu jsou rozšířeny o třetí složku s nulovou³ hodnotou. Model rekonstrukce tak využívá jednotného souřadnicového systému pro orientaci v prostoru modelu i pro orientaci mezi jednotlivými body snímku. Výsledný stav je znázorněn na obrázku 18.



Obrázek 18: Souřadnicový systém

4.4.4 Návrh postupu rekonstrukce rozměru kalibrované roviny

Zde je uveden návrh konkrétního postupu jak provést rekonstrukci kalibrované roviny. Pro rekonstrukci lze s využitím sestaveného digitálního modelu scény v kapitole 4.4.3 použít i jiné metody.

³není nutná přímo nulová hodnota ale body snímku musí náležet stejné rovině jako hlavní bod

Rekonstrukce bodu snímku Metoda kalibrace využívá vytvořeného trojrozměrného modelu scény. Postup rekonstrukce pozice bodu snímku se skládá z výběru libovolného bodu snímku, následného vytvoření přímky procházející vybraným bodem a středem promítání a výpočtu průsečíku vytvořené přímky s kalibrovanou rovinou. Příklad je znázorněn na obrázku 19. Výpočet lze provést triviální rovnicí získání průsečíku a přímky a roviny.

Odstranění perspektivy Odstranění perspektivy je nejkomplikovanější část celé kalibrace. Pro odstranění perspektivní deformace je zvolena pixelová transformace složená z jediné matice [9]:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{01} & m_{02} & m_{03} \\ m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

kde:

$m_{01}...m_{23}$ = koeficienty matice, které jsou předmětem výpočtu

(x, y) = souřadnice transformovaného pixelu

(x', y', w) = souřadnice původního pixelu snímku, kde w představuje homogenní složku

Dostaneme devět neznámých koeficientů matice, které lze vypočítat na základě znalosti čtyř bodů na snímku a znalosti čtyř bodů, které odpovídají jejich požadované cílové pozici po transformaci [9]. Zmíněné body udávají vrcholy zdrojového a cílového čtyřúhelníku.

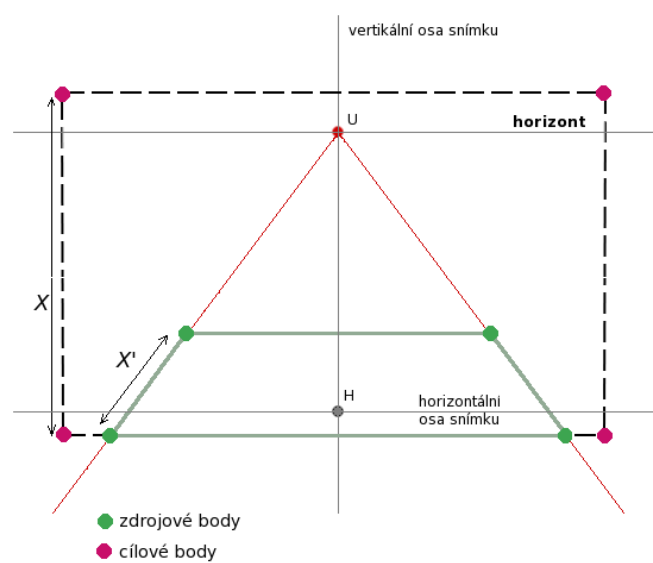
Práce se dále zabývá postupem získání těchto osmi klíčových bodů, samotný výpočet koeficientů matice není předmětem této diplomové práce. Postupy výpočtu jsou známy a jsou součástí většiny sad funkcí poskytující podporu pro manipulaci s obrazem a stejně tomu bude i v pozdější fázi návrhu softwaru, kdy k výpočtu bude využito externích funkcí. Matematickým detailům výpočtu koeficientů se podrobně věnuje použitá publikace [3].

Výkonnostní výhodou této metody je, že výpočet koeficientů matice probíhá jen na počátku a dále je pozice každého bodu vypočítána pouze pomocí sestavené matice.

Získání zdrojového a cílového čtyřúhelníku Na snímku bude zvolen pravidelný lichoběžník. Dále bude provedena rekonstrukce pozice jeho vrcholů na kalibrované rovině výše uvedeným způsobem. Cílový čtyřúhelník bude získán nanesením vzdálenosti mezi rekonstruovanými vrcholy na zdrojový čtyřúhelník. Získání vzdáleností vrcholů po rekonstrukci je znázorněno na obrázku 19 a nanesení vzdálenosti na snímek na obrázku 20.



Obrázek 19: Metoda získání původních rozměrů obecné oblasti snímku



Obrázek 20: Příklad nanesení rozměrů na původní čtyřúhelník

4.5 Atributy kalibrace

4.5.1 Přehled atributů

Ve fázi odstranění distorze objektivu je potřeba znát:

- atributy oříznutí (pro odstranění decentralizace optické osy)
- koeficienty distorze

Ve fázi předzpracování:

- pro snímky dutiny je potřeba znát střed a poloměr kružnice vymežující oblast
- pro plošné snímky je možné zadat nepovinný úhel rotace snímku

Ve fázi odstranění perspektivy jsou nezbytné:

- zorný úhel
- vzdálenost v milimetrech a náklon kalibrované roviny ve směru pohledu
- poměr velikosti jednoho pixelu a jednoho milimetru

4.5.2 Logické rozdělení atributů

Atributy potřebné ke kalibraci byly rozděleny na:

- **atributy sondy** - atributy vázané na použitý optický přístroj s daným⁴ nastavením
- **atributy vázané na konkrétní snímek**

Atributy sondy Tyto atributy jsou závislé na použitém objektivu přístroje a jeho nastavení v době pořízení snímku a také na softwaru, který snímek vytváří. Závislé atributy jsou:

- atributy oříznutí
- koeficienty distorze
- zorný úhel

Výsledkem je, že pro snímky pořízené stejným objektivem resp. přístrojem se stejným nastavením stačí v programu vytvořit jednu odpovídající reprezentaci - **sondu**, kterou bude možno opakovaně a beze změn použít při kalibraci všech pořízených snímků tímto přístrojem. Výhodou je, že nemusí být analyzován každý snímek zvlášť, předchází se tím chybě při analýze a navíc zachovává kalibraci s podobnou chybou.

⁴atributy sondy se liší podle specifického nastavení přístroje, například změnou ohniskové vzdálenosti nebo apertury objektivu

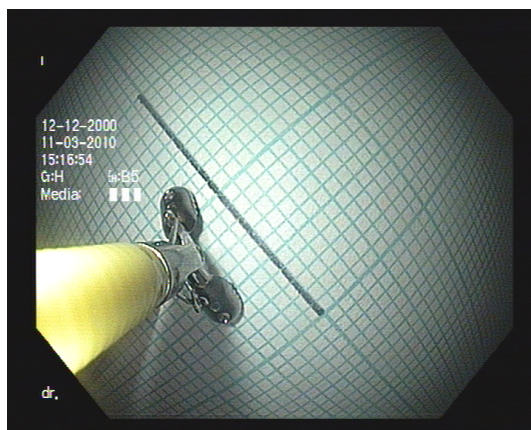
Atributy snímku Tyto atributy nelze předem určit, vychází z pozice objektivu přístroje vůči kalibrované ploše v době pořízení snímku. Atributem kalibrace dutiny vázaným na snímek je pouze **střed dutiny**. Atributy kalibrace, které jsou vázány na plošný snímek jsou **vzdálenost** kalibrované roviny a **úhel naklonění** kalibrované roviny ve směru pohledu. Postup jak získat atributy plošného snímku je popsán v kapitole 3.2.

Uvedené atributy musí být definovány zvlášť před kalibrací každého snímku.

4.6 Postup analýzy atributů sondy

4.6.1 Postup analýzy

Požadavky na vstupní snímek K analýze je potřeba získat snímek kolmé roviny, na které je vodorovně položeno milimetrové měřidlo. Zachytit toto měřidlo v oblasti středu snímku a znát přesně vzdálenost, z jaké byl snímek pořízen. Přesná kolmost roviny a přesná vzdálenost je velmi důležitá pro správnost výpočtů. Ukázka snímku, který byl mezi vstupními snímky v rámci analýzy je na obrázku 21.



Obrázek 21: Ukázka vstupního snímku analýzy

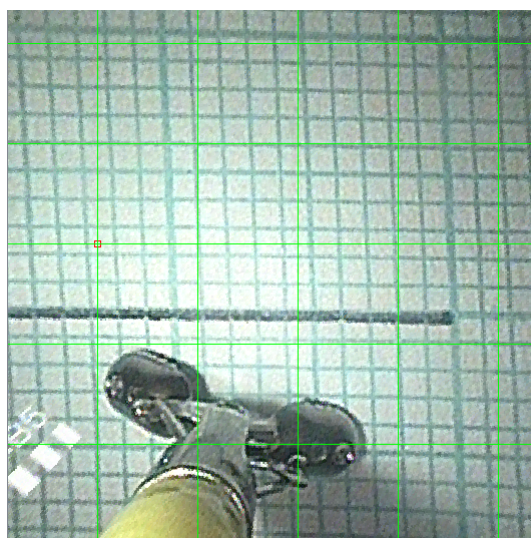
Získání atributů oříznutí a radiální distorze Prvním krokem je odstranění radiální distorze. Postup odstranění spočívá v postupném nastavování koeficientů a pozorováním napřimování linií. Výsledek závisí pouze na odhadu uživatele. Odhad může být podpořen nanesením mřížky na snímek, které nebude podléhat transformacím a bude sloužit jako šablona cílového stavu.

V případě endoskopických snímků, které byly k dispozici a jsou přílohou této diplomové práce, se radiální distorze projevovала stejnoměrně od středu snímku. Aby algoritmus odstranil takové chování radiální distorze, musí být ze snímku udělán čtvercový výřez. Velikost čtverce je libovolná, klíčová je pozice jeho středu. U konkrétních snímků z dostupného endoskopu, na kterých byla provedena a ověřena analýza, se jako střed čtverce se osvědčil střed barevné oblasti snímku bez černých okrajů. Pozice středu, která bude při odstraňování radiální distorze podávat dobré výsledky se může lišit v závislosti

na použitém endoskopu a v neposlední řadě i v závislosti na použitém softwaru, který digitální snímky vytváří.

Získání zorného úhlu Druhým krokem je odečtení šířky transformovaného snímku v milimetrech pomocí měřidla zaznamenaném na snímku. Ukázka výsledného transformovaného obrázku procesem analýzy, z kterého lze získat šířku v milimetrech, je na obrázku 22.

Zorný úhel pak lze snadno vypočítat sestavením rovnoramenného trojúhelníku jehož délka základny odpovídá šířce snímku v milimetrech a jeho výška odpovídá vzdálenosti objektivu od roviny. Úhel mezi rameny trojúhelníku je i zorný úhel, který se používá pro kalibraci [6].



Obrázek 22: Ukázka výstupního snímku analýzy

Poznámka 4.1 Obecně je do výpočtů potřeba zahrnout i aktuální nastavení přístroje. Pozorovaný endoskop má neměnnou aperturu i ohniskovou vzdálenost, která bude použita u všech snímků, proto není nutné tyto parametry do analýzy zahrnovat. U komplikovanějších přístrojů musí být tato analýza provedena pro jeho každé nastavení nebo zadána podmínka jak má být přístroj nastaven aby byla umožněna následná kalibrace.

4.6.2 Minimalizace chyb

Do analýzy mohou být zaneseny chyby hned ve fázi samotného pořízení analyzovaného snímku. Rovina může být vychýlena nebo vzdálenost nemusí naprosto přesně odpovídat. Velká pravděpodobnost je i ve fázi nastavování koeficientů radiální distorze. Proto je vhodné provést více analýz snímků roviny z různé vzdálenosti a pro nastavení sondy použít hodnoty získané průměrem nebo jinou statistickou metodou.

5 Návrh s softwarová realizace kalibračního modulu

5.1 Návrh systému

5.1.1 Cíle systému

Hlavními vstupními daty budou snímky pořízené endoskopem a výstupními daty budou snímky určené k fotogrammetrickému měření.

Cílem je zachovat možnosti kalibrace kruhových a plošných snímků, které poskytoval předcházející systém FOTOM 2008 a využít nastavení atributů a provedení kalibrace podle nově vytvořené metody popsané v kapitole 4.

Při práci bude kalibrovaný snímek zobrazen v hlavním okně aplikace. Bude umožněna volba sondy, typu kalibrace a přehledná možnost nastavení atributů.

5.1.2 Byznys model

Do návrhu byly zahrnuty poznatky z analýzy a praktického používání systému FOTOM 2008 a systému FOTOM 2009 s využitím znalosti nově navrženého procesu kalibrace, který je popsán v kapitole 7 byl vytvořen diagram aktivit kalibračního modulu zobrazený na obrázku 23.

5.1.3 Specifikace požadavků na software

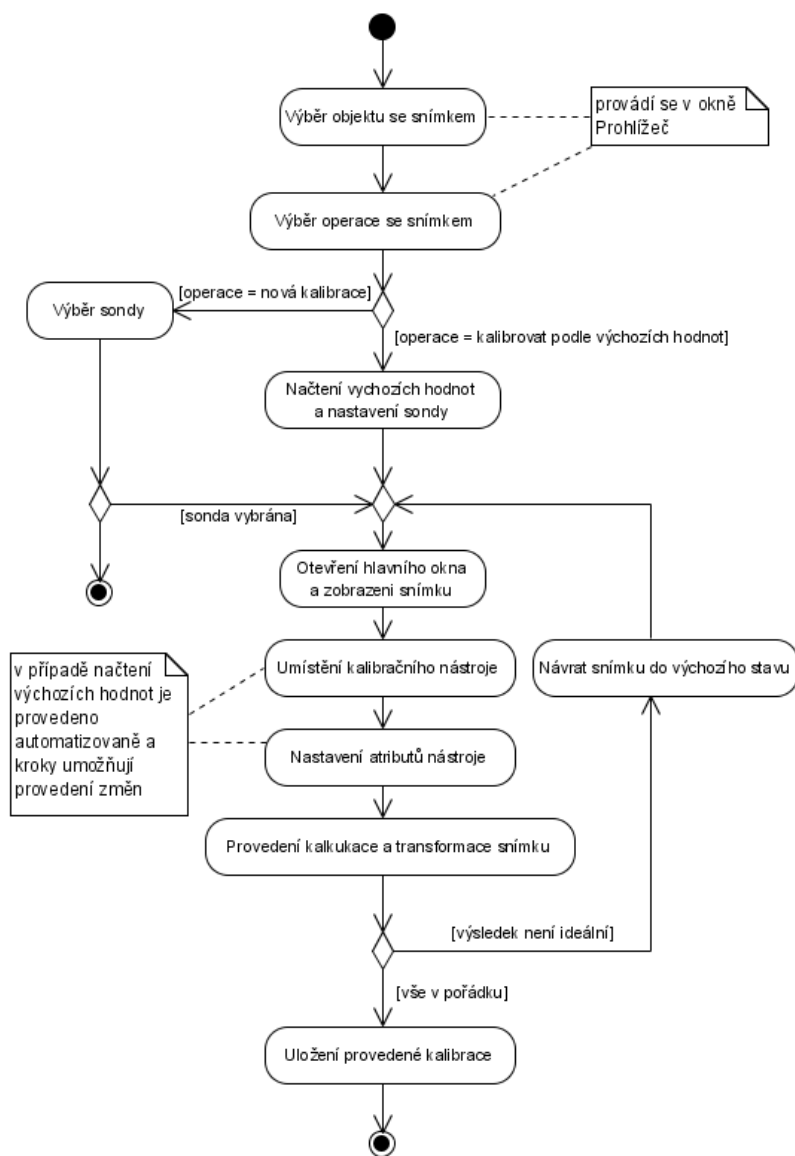
Vytvořený software bude implementován jako rozšíření stávajícího modulárního fotogrammetrického systému FOTOM 2009 o schopnost kalibrování medicínských snímků. Cílem je vytvořit systém modulů, který plně nahradí současný již nedostačující kalibrační systém FOTOM 2008 a bude podporovat snadné zadávání atributů a provedení kalibrace snímku.

Výsledné snímky budou sloužit jako vstup pro stávající moduly skicování definování objektů. Použité kalibrační atributy budou uloženy společně se zkalibrovaným snímkem po celou dobu jeho existence. Systém bude umožňovat využít uložené atributy zkalibrovaného snímku a použít je pro kalibraci dalších snímků. Dále bude umožňovat přednastavit, uložit a opakovaně používat atributy jednotlivých sond.

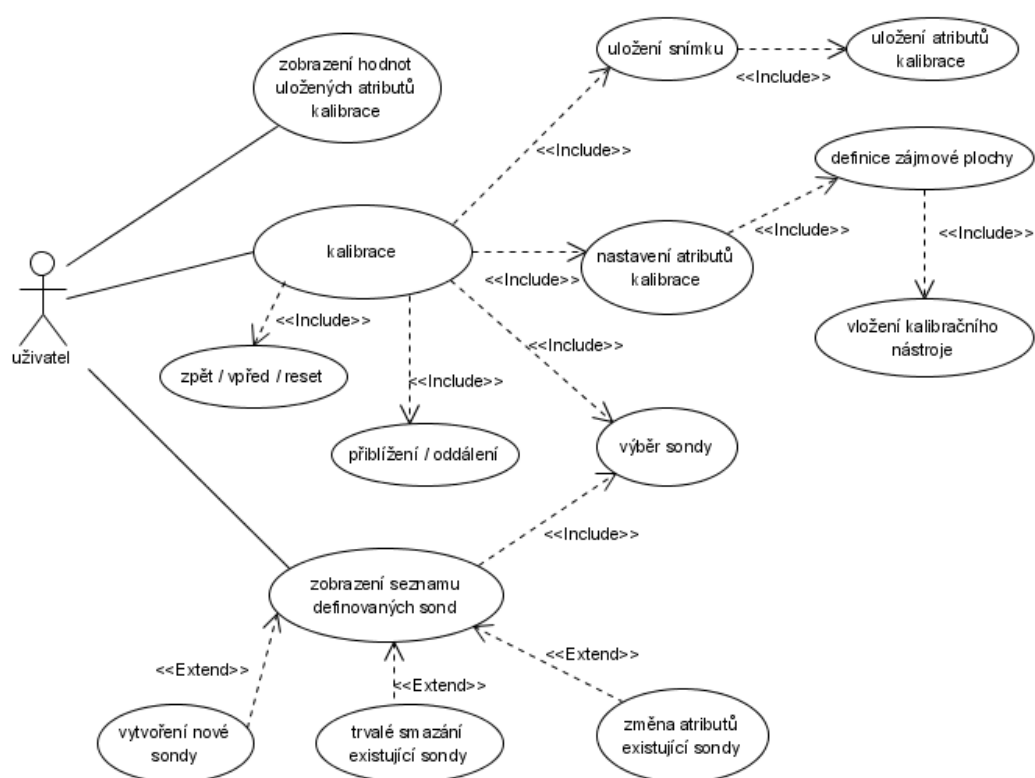
Na základě analýzy cílů a uvedených požadavků byl sestaven diagram případů užití modulu kalibrace, který je zobrazen na obrázku 24.

5.2 Analýza systému FOTOM 2009

Systém FOTOM 2009 je nově vyvíjený fotogrammetrický systém na FEI VŠB TU Ostrava, poskytuje robustní API a podporuje snadnou modulární rozšiřitelnost systému. Celé jádro systému, jednotlivá API a specifické implementace jsou popsány v dokumentu [4]. Tato kapitola je věnována pouze náhledu na technologie a jednotlivá API využívaná kalibračním modulem.



Obrázek 23: Diagram aktivit systému



Obrázek 24: Diagram případů užití

5.2.1 Softwarové technologie systému FOTOM 2009

Základem systému je platforma Netbeans, což je obecný framework, který poskytuje modulární a rozšiřitelný základ pro použití při vytváření Swing aplikací. Stejně jako platforma Netbeans je i FOTOM 2009 napsán v jazyce Java. Manipulace se samotnými snímky je realizována pomocí rozšíření Java Advanced Imaging a stejně jako Java samotná je plně objektově orientovaná. Java Advanced Imaging mimo využívané vlastnosti systémem FOTOM 2009 obsahuje také výkonné geometrické funkce pro manipulaci s obrazem popsané v dokumentu [9], mezi které patří zejména perspektivní deformace, což je výpočetně náročná operace prováděná v procesu kalibrace.

Seznam technologií:

- programovací jazyk Java
- platforma JEE
- systém vizuálních komponent Swing
- zakomponování modulů, základ mezimodulární komunikace, správy oken a akcí podle platformy Netbeans
- stávající API FOTOM 2009
- zpracování obrazu pomocí Java Advanced Imaging

Využívané technologie jsou dostačující k implementaci kalibračního modulu s výjimkou stávajícího API FOTOM 2009, které muselo být rozšířeno podle popisu v kapitole 5.4, proto není nutné aby kalibrační modul a tím i systém FOTOM 2009 využíval a závisel na dalších technologiích.

5.2.2 Využívané části systému FOTOM 2009 kalibračními moduly

FtmObjekt je hlavní třídou reprezentující snímek. Všechny definované objekty na snímku jsou obsaženy v objektu kontejneru nástrojů *toolContainer*, který je nedílnou třídou *FtmObject*.

Uložený *FtmObject* je reprezentován dvěma soubory, prvním je soubor se samotným snímkem ve formátu BMP a druhým je stejnojmenný soubor s příponou .ftf, který obsahuje definované objekty na snímku ve formátu XML.

Lookup API Je způsob, který využívá platforma Netbeans k mezimodulární komunikaci a k určení aktuálního stavu systému - **kontextu**. Systém FOTOM 2009 používá implementaci vlastního kontextu, který podporuje aby byl vždy právě editovaný *FtmObject* dostupný přes Lookup API pro ostatní moduly.

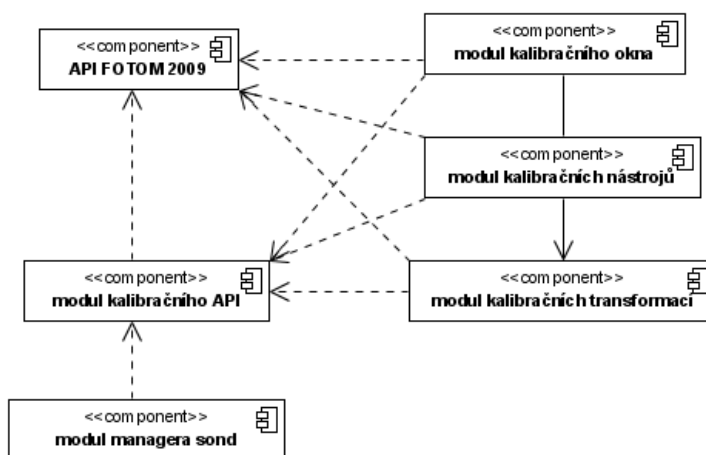
Všechny nové moduly, které editují *FtmObject* musí pro zachování správné funkčnosti ostatních modulů dodržovat tuto vlastnost. Pro tyto účely poskytuje rozhraní *Lookup-Provider*, které je potřeba v modulu realizovat. Zaregistrování vlastní implementace rozhraní do systémového kontextu FOTOM 2009 je pak zajištěno využitím mechanismu pro přidání poskytovatelů [7] vytvořením příslušného souboru v modulu, který obsahuje seznam tříd implementujících toho rozhraní v rámci modulu.

Využitá část API jádra pro podporu nástrojů Kalibrační modul využívá zejména abstraktní třídy *ShapeTool* a od ní odvozenou třídu *MeasureDef*. Třídy jsou určeny pro implementaci nástrojů. Vytvořené nástroje pak lze přiřazovat do kontejneru nástrojů *toolContainer*, který je součástí dříve popsané třídy *FtmObject*.

Třída *ToolContainer* obsahuje všechny nástroje vložené na snímek. Obsluhuje události pohybu myši a řídí mechanismus vkládání, odebírání a aktivování jednotlivých nástrojů včetně udržování kontextu nástrojů, který obsahuje vždy vybraný nástroj a umožní tak ostatním modulům, mezi které patří například editor atributů, přístup k nástroji.

5.3 Volba softwarové technologie

Volba softwarové technologie je dána požadavkem na rozšíření existujícího fotogrametrického systému FOTOM 2009. Použité softwarové technologie a důležité využívané API je popsáno v kapitole 5.2. Kalibrační modul bude navržen a implementován systém dílčích modulů, rozdělených podle zaměření aby byl zachován hlavní účel modulárního systému, kterým je při dodržení API možnost nezávislé aktualizace jednotlivých modulů. Systém dílčích modulů kalibračního modulu je popsán diagramem komponent na obrázku 25.



Obrázek 25: Diagram dílčích modulu kalibračního modulu

5.4 Rozšíření API jádra systému o obecnou podporu atributů

5.4.1 Důvod rozšíření

Stávající API FOTOM 2009 umožňuje ukládat pouze snímek a definované objekty na tomto snímku. Ukládání je realizováno ve dvou souborech, soubor se snímkem v běžném obrazovém formátu a soubor XML, který obsahuje definované objekty a základní atributy snímku, mezi které patří například jeho název.

Kalibrační operace musí mít možnost uložit své nastavení aby bylo možné zjistit, jakými atributy byl snímek kalibrován a stávající API toto neumožňuje. Obecně mohou mít potřebu zaznamenávat vlastní atributy ke snímku i později implementované moduly. Proto bylo přistoupeno k rozšíření stávajícího API FOTOM 2009.

5.4.2 Návrh systému atributů a jejich perzistence

Diagram tříd zobrazující rozšíření stávajícího API systému je zobrazen na obrázku 26.

AttributeObject bude vytvořen jako abstraktní třída, která bude umožňovat implementaci konkrétních objektů atributů.

AttributeContainer Dále bude vytvořen kontejner atributů *AttributeContainer*, který bude obsahovat všechny objekty atributů snímku a umožní přiřazování, odebírání a přístup k jednotlivým objektům. Bude umožňovat registraci posluchačů, kteří budou informováni o přiřazení a odebrání objektu atributů od snímku.

Perzistence Hlavním perzistentním objektem systému je *FtmObject*, který již implementuje způsob perzistence definovaných objektů přiřazených v kontejneru objektů. *FtmObject* bude rozšířen o vazbu na kontejner atributů, který bude pro uložení přiřazených objektů využívat stejný soubor i návrh perzistence spočívající v možnosti reprezentace kontejneru atributů a všech přiřazených objektů ve formátu XML a jeho následného uložení společného do souboru. Proces kontejneru atributů je popsán diagramem aktivit na obrázku 27.

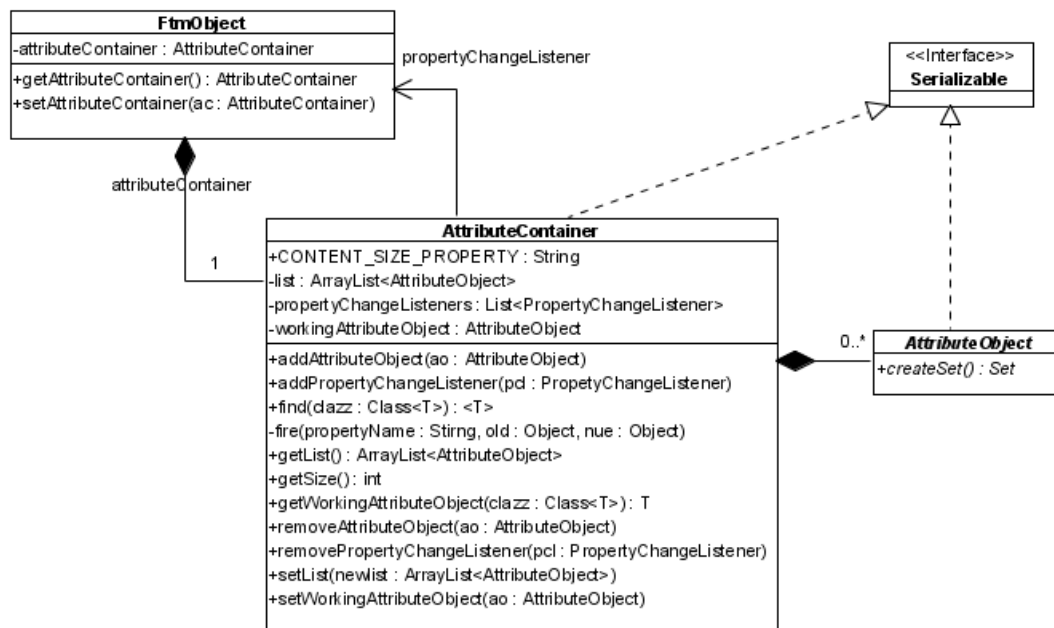
5.5 Implementace modulů pro kalibraci snímků

5.5.1 Modul kalibračního API

Poskytuje velmi jednoduché API, které obsahuje třídy reprezentující kalibrační atributy snímku. API využívají všechny moduly kalibrace a tím využívají jednotný způsob manipulace s atributy.

Modul realizuje rozdělení atributů kalibrace popsané v kapitole 4.5.2 na atributy týkající sondy, kterou byl snímek pořízen a atributy vázané na konkrétní snímek.

Třídní diagram popisující rozložení, vztahy mezi třídami kalibračního API a jejich napojení na stávající API FOTOM 2009 je zobrazen na obrázku 28.



Obrázek 26: Diagram tříd pro rozšíření API o podporu atributů



Obrázek 27: Diagram aktivit perzistence atributů snímku

CalibrationAttributeObject je hlavní třídou reprezentující všechny atributy kalibrace. Objekt je definován jako složení několika tříd uchovávajících jednotlivé sady atributů rozdělené podle účelu.

Zajišťuje perzistenci dat, třída je odvozená od třídy *AttributeObject*, která je popsána v kapitole 5.4 a při uložení provedené kalibrace je jako *AttributeObject* přidána do seznamu atributů perzistentního objektu reprezentující zkalibrovaný snímek.

Sensor je jednoduchou třídou reprezentující atributy sondy.

PerspectiveTool je abstraktní třídou odvozenou ze třídy *ShapeTool* poskytovanou API FOTOM 2009 [4]. To znamená, že umožňuje implementovat nástroj, kterému je umožněno kreslení na plátno a jeho zobrazení v nové vrstvě tak, aby nezasahoval do snímku. Vložením nástroje na snímek je kontrola nad nástrojem předána systému. Detaily návrhu a implementace práce s nástroji poskytované systémem FOTOM 2009 jsou popsány v dokumentu [4].

Třída rozšiřuje původní objekt nástroje o metody poskytující vlastnosti, které reprezentují atributy kalibrace závislé na konkrétním snímku.

RotationTool je další abstraktní třída pro implementaci nástrojů odvozená ze třídy *MeasureDef* poskytovaná v API FOTOM 2009 [4], která je dále odvozená z *ShapeTool* stejně jako předchozí třída *PerspectiveTool*. Třída *MeasureDef* je původně určená k implementaci nástrojů pro definici referenčních bodů ale zde je použita k definování úhlu náklonu roviny.

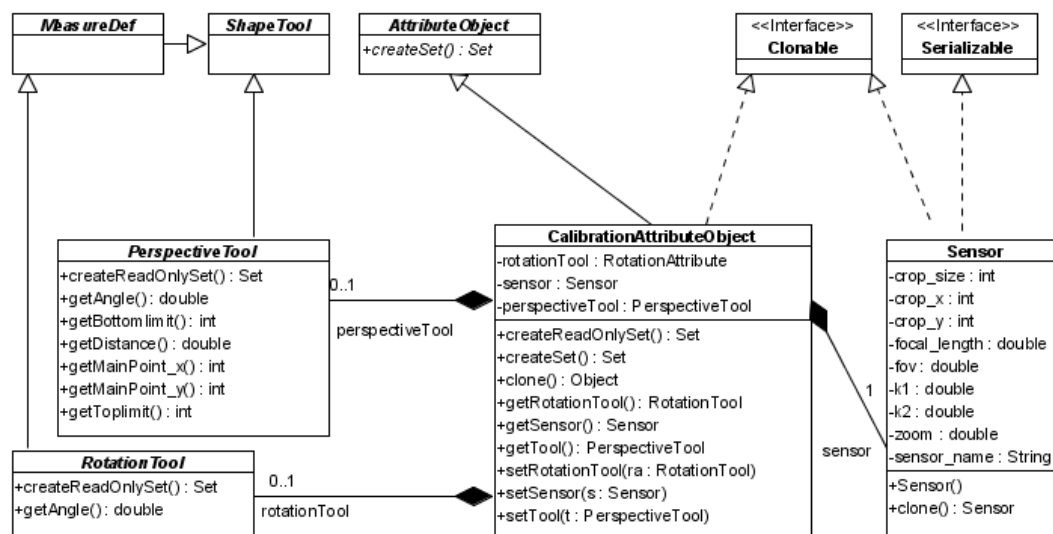
Třída *RotationTool* přidává metody poskytující vlastnost, která reprezentuje úhel naklonění roviny, ten je využíván ve fázi předzpracování snímku a je rovněž ukládán s ostatními atributy kalibrace.

5.5.2 Modul kalibračního okna

Účelem je realizace hlavního okna editoru je zobrazovat snímek a umožňovat vkládání nástrojů. Modul využívá stejný model zobrazování snímku jako již existující modul pro definování objektů. Obsahuje dvě hlavní třídy, jedna pro reprezentování hlavního okna (*CalibrationTopComponent*) a druhá pro zobrazení snímku (*Display*).

Diagram tříd modulu kalibračního okna je zobrazen na obrázku 30. Implementace se od editoru definice objektů odlišuje využitím jiné palety nástrojů a jinými možnostmi hlavního okna.

Hlavní okno kalibrace Pro realizaci hlavního okna se snímek je určena jedna třída *CalibrationTopComponent*, které využívá Windows API platformy Netbeans, obsahuje objekt plátna *Displayer* (viz. dále) a inicializuje a řídí paletu nástrojů. Hlavní okno má vlastní kontext, který se ve spolupráci s objektem pro řízení kontextu (viz. dále) stane i kontextem celého modulu.



Obrázek 28: Třídní diagram modulu kalibračního API

Display je třída odvozená a abstraktní třídy *Displayer* poskytovaná v API FOTOM 2009. Třída reprezentuje zobrazovací plátno a implementace umožňuje zobrazit snímek a snímat akce a pohyb kurzoru myši.

Zadávání nástrojů Modul umožňuje zadávat nejen kalibrační nástroje ale i nástroje pro definování objektů a s jejich využitím lépe umístit kalibrační nástroj.

Kalibrační modul implementuje pouze objekt hlavního okna řídící výběr nástroje z palety a objekt pro zobrazování snímku. Umístěním nástroje na snímek se provede přiřazení nástroje do kontejneru nástrojů editovaného objektu, dále je proces vložení nového nástroje předán systému FOTOM 2009. Podrobný popis vložení nástroje včetně výběru nástroje na paletě zobrazen sekvenčním diagramem v dokumentu [4] na obrázku *Sekvenční diagram definice nového objektu*.

Kontext modulu Modul kalibračního okna využívá poskytované rozhraní pro zadávání nástrojů, proto potřebuje aby kontext modulu byl zahrnut do aktuálního kontextu celého systému. Pro tyto účely modul implementuje třídu *CalibrationContext* řídící kontext modulu.

Otevření kalibračního okna Modulární systém FOTOM 2009 je navržen tak, aby zobrazil všechny možnosti otevření a editace snímku nezávisle na počtu modulů a způsobu editace, pro tyto účely obsahuje API systému FOTOM 2009 rozhraní *FtmEditProvider*. Pro tyto účely byla vytvořena třída *EditFtmObjectAction*, která realizuje toto rozhraní a nezávisle na zbytku systému obsahuje implementaci postupu otevření hlavního kalibračního okna. Postup prováděných kroků při otevírání hlavního okna kalibrace je zaznamenán sekvenčním diagramem na obrázku 29.

Poskytované objekty pro systém FOTOM 2009 Platforma Netbeans umožňuje modulům poskytovat prostřednictvím Lookup API [7] vlastní objekty. Ve výpisu 1 je zobrazen konkrétní postup systému FOTOM 2009, který získá všechny objekty nabízené přítomnými moduly z kategorie akcí realizující rozhraní *FtmEditProvider*. Vypis 2 obsahuje způsob nabídnutí objektu ostatním modulům, který se provádí deklarativním způsobem pomocí module-layer.

Modul kalibračního okna poskytuje tři objekty akcí pro operaci s instancemi snímku:

- **EditFtmObjectAction** pro otevření snímku a zahájení nové kalibrace
- **FtmSetAsDefaultCalibrationAction** pro nastavení výchozích hodnot podle použitých atributů kalibrace
- **EditFtmWithDefaultAttributesAction** pro otevření snímku a zahájení kalibrace podle výchozích hodnot

```
Lookup providers = Lookups.forPath("Actions/FtmEditProviders");
for (FtmEditProvider editor : providers.lookupAll(FtmEditProvider.class)) {
    allEditActions.add(editor.getEditAction());
}
```

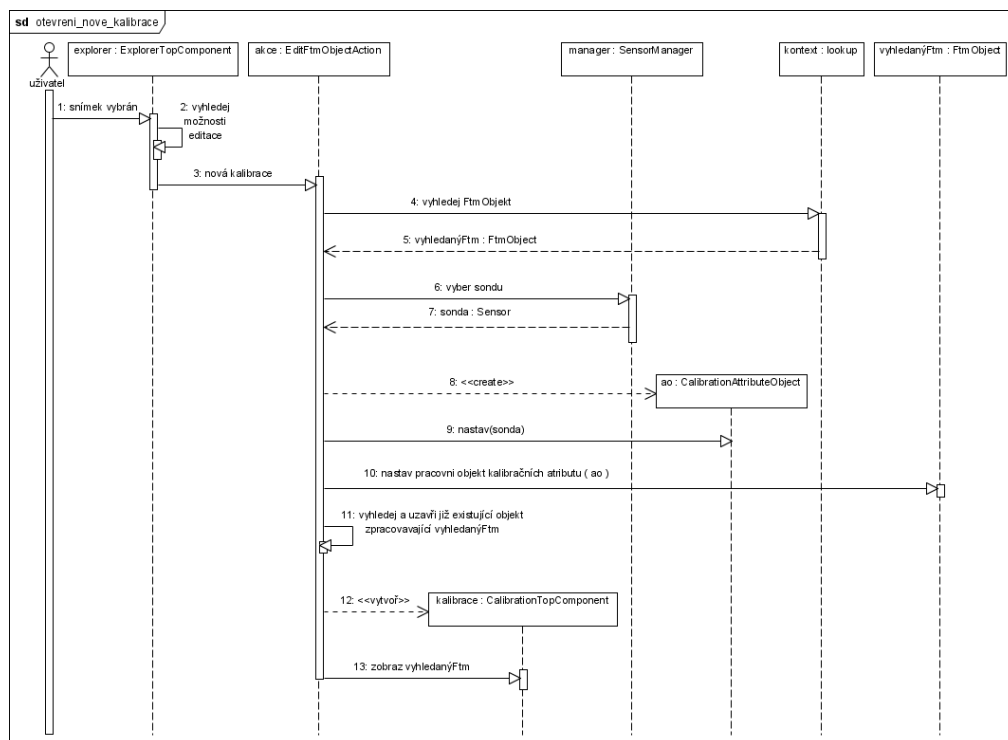
Výpis 1: Vyhledání všech poskytovatelů editace snímku

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE filesystem PUBLIC "-//NetBeans//DTD_Filesystem_1.2//EN" "http://www.netbeans.org
/dtds/filesystem-1.2.dtd">
<filesystem>
  <folder name="Actions">
    <folder name="FtmEditProviders">
      <file name="org.fotomapp.fotomcalibration.EditFtmObjectAction.instance">
        <attr name="position" intvalue="100" />
      </file>
    </folder>
  </filesystem>
```

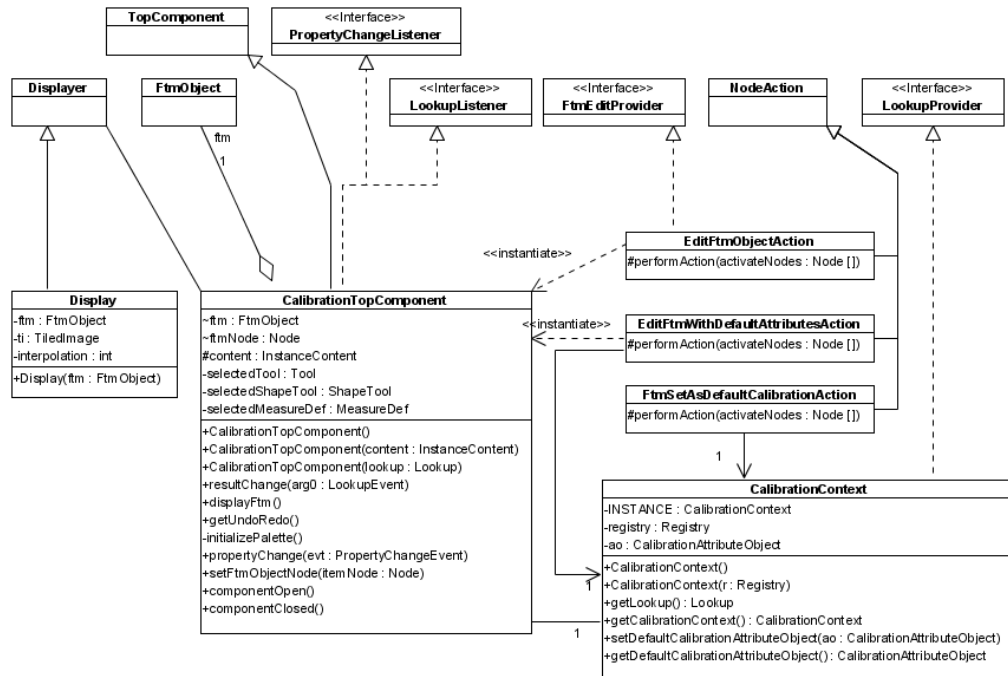
Výpis 2: Registrace poskytovatele editace snímku modulem

5.5.3 Modul kalibračních nástrojů

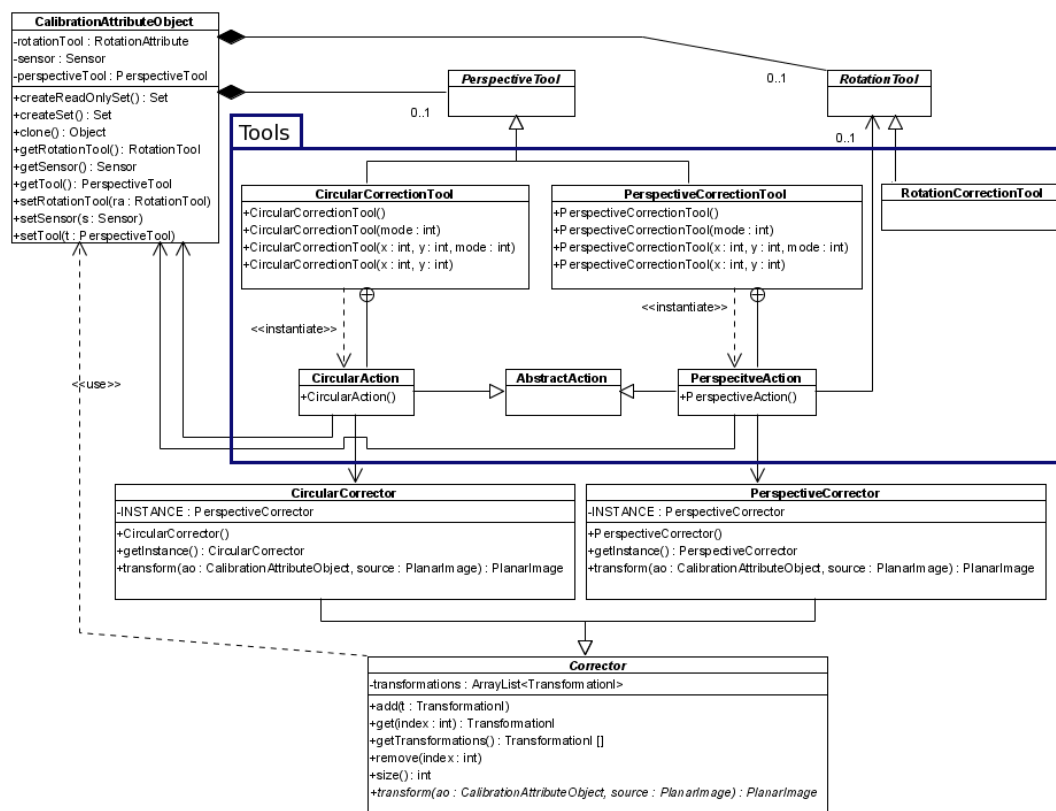
Určen k realizaci nástrojů pro definování atributů kalibrace vázané na konkrétní snímek. Pro každý druh snímku je zvolen odlišný postup kalibrace a proto jsou vytvořeny speciální nástroje sloužící k rozlišení typu kalibrace a také ke grafickému zadání a definování specifických atributů. Pomocí nabízené akce nástrojem je možné spustit patřičný postup kalibrace. Ukázka palety nástrojů je na obrázku 32.



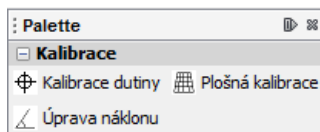
Obrázek 29: Sekvenční diagram otevření nového kalibračního okna



Obrázek 30: Třídní diagram modulu kalibračního okna



Obrázek 31: Třídní diagram modulu kalibračních nástrojů



Obrázek 32: Ukázka palety nástrojů

Nástroj kalibrace snímku dutiny Navržen pro definici typu kalibrace snímků dutin a definice zájmové plochy snímku určené ke kalibraci. Je zadán pomocí středu a poloměru dvou soustředných kružnic. Umístěním na snímek je zvolen střed kalibrace a pomocí nastavení poloměrů kružnic je zvolena zájmová oblast. Zájmovou oblastí snímku se rozumí kruhová plocha shora omezená vnitřní a zdola omezená vnější kružnicí.

Nástroj plošná kalibrace Umístěním tohoto nástroje na snímek definujeme, že bude provedena kalibrace plošného snímku. Střed kalibrace je určen středem snímku, nástroj umožňuje nastavit omezení zájmové plochy z důvodu úbytku obrazových informací na snímku směrem od objektivu po horizont. Kalibrace příliš vzdáleného místa nebude poskytovat užitečné informace, protože většina výsledného obrazu bude algoritmicky dopočítána. Dále umožní zadání atributů kalibrace, které jsou vázané na plošný snímek.

Nástroj úprava náklonu Nástroj je potřeba definovat dvěma body aby vypočítal odchylku přímky procházející těmito body od vodorovné hranice snímku. Umístěním nástroje na snímek se rotace automaticky zahrne před fází odstranění perspektivy podle diagramu na obrázku 7.

5.5.4 Modul kalibračních transformací

Určen pro realizaci transformací snímku. Architektura modulu je navržena podle návrhového vzoru **Kompozit**. Jednotlivé primitivní geometrické operace jsou přístupné přes vedoucí objekty obsahující již složené kompozice operací, které sekvenčním prováděním nad snímkem dosáhnou požadované transformace snímku. V rámci kalibrace jsou vytvořeny tři vedoucí objekty transformací:

- **LensCorrector** - zajišťuje provedení první fáze kalibrace, je složen z transformací *oříznutí* a *odstranění distorze čočky*.
- **PerspectiveCorrector** - realizuje provedení fáze předzpracování snímku a odstranění perspektivy, je složen s operací *rotace* a *odstranění perspektivy*.
- **CircularCorrector** - zajišťuje fázi předzpracování a odstranění perspektivy snímků tubusu, je složen z transformací *rozbalení snímku* a *odstranění perspektivy*.



Obrázek 33: Třídní diagram modulu kalibračních transformací

Použití návrhového vzoru umožňuje nezávisle použití stejných primitivních operací v různých vedoucích objektech nebo jejich znovupoužití v sekvenci, usnadňuje rozšíření modulu o další primitivní operace i o případné další vedoucí objekty poskytující komplexní transformace. Výkon modulu zvyšuje využití podpory JAI.

Všechny transformace používají metodu zpětného mapování pixelů. Metoda je popsána v dokumentu [5]. Tím je dosaženo vysokého výkonu, protože se neprovádí výpočty pro body, které nejsou součástí výsledného snímku.

oříznutí na základě předaných atributů vytvoří výřez definované oblasti snímku. Využití v procesu kalibrace je uvedeno v kapitole 4.2.1.

odstranění distorze čočky odstraní soudkovité zkreslení snímku na základě zadaných koeficientů podle postupu v kapitole 4.2.2.

rotace otočí všechny pixely podle středu snímku podle zadaného úhlu.

rozbalení snímku převede pixely umístěné na kružnici do rovného řádku obrazu. Obsahuje implementaci unikátního postupu popsáno v kapitole 4.3.2.

odstranění perspektivy Pro odstranění perspektivní deformace je zvolena metoda perspektivního mapování čtyřúhelníku na jiný čtyřúhelník, která je popsána v návrhu kalibrační metody v kapitole 4.4.4. Tato metoda je přímo podporována rozšířením JAI a plně využívá tento výkon.

Předmětem implementace je výpočet konkrétních vrcholů zdrojového a cílového čtyřúhelníku, na základě kterých provede transformační funkce JAI odstranění perspektivy.

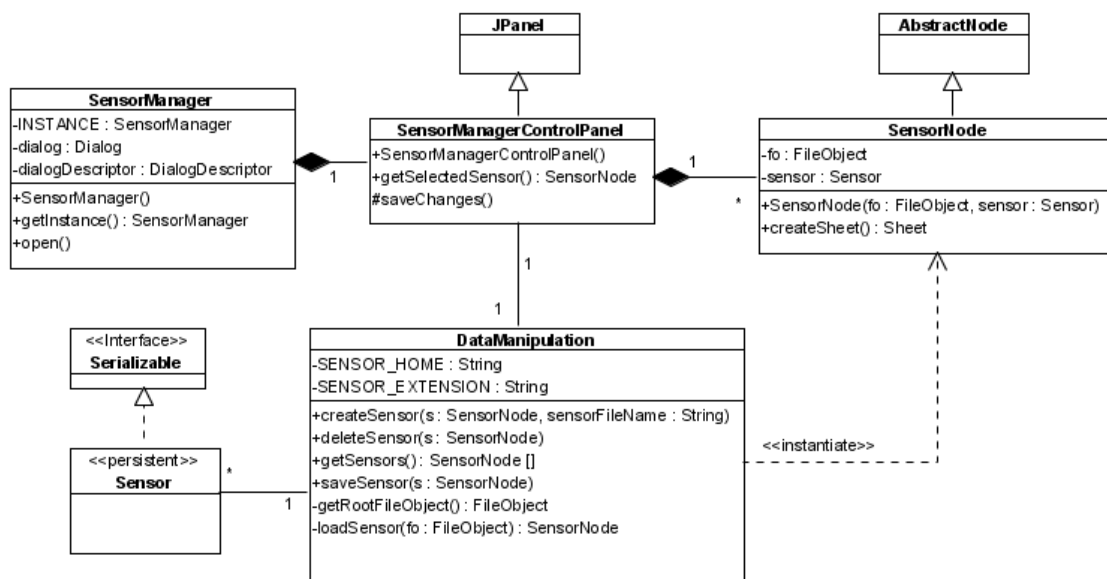
5.5.5 Modulu manažera sond

Modul vznikl v zájmu zvýšení použitelnosti systému a je určený pro realizaci správy jednotlivých sond. Pracuje s instancemi třídy *Sensor* z kalibračního API 5.5.1, které slouží k zapouzdření atributů sondy. Ukázka grafického okna manažera sond je na obrázku 36.

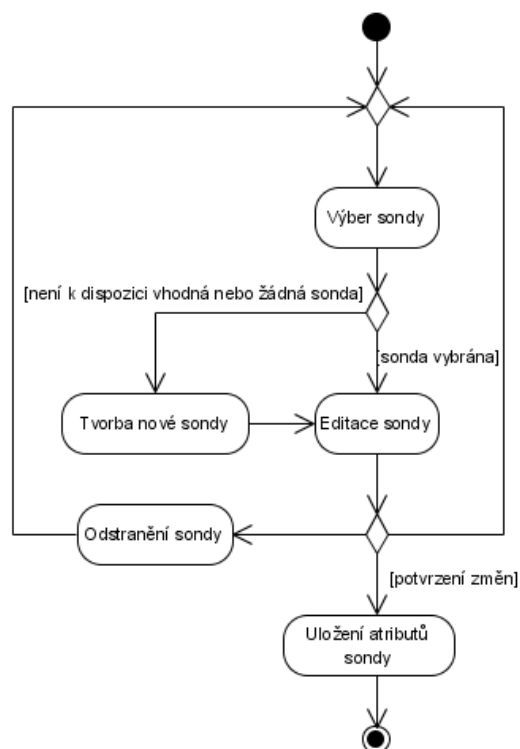
Perzistence sond modul poskytuje mechanismus trvalého uložení objektu (perzistence) sondy. Každý objekt sondy bude uložen ve formátu XML do samostatného souboru s příponou .snr.

Správa sond Manažer poskytuje přehledné GUI pro výběr a editaci atributů sondy prostřednictvím zobrazení nového okna vytvořeného jen pro tyto účely. GUI také umožňuje definování nové sondy a smazání vybrané sondy. Nebude tedy nutné pokaždé zadávat atributy sondy pro kalibraci snímku pokud již byla sonda v minulosti použita a je stále uložena v systému.

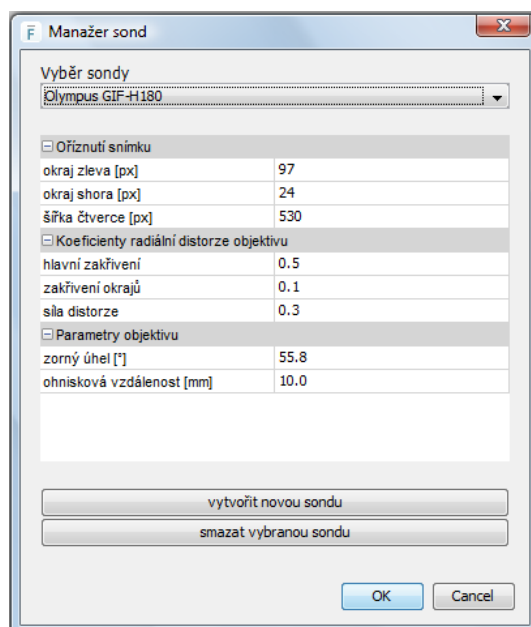
K vizuální reprezentaci využívá Nodes API, které je součástí platformy Netbeans. Jedná se o zapouzdření perzistentního objektu a jeho rozšíření na aplikační úrovni, kde lze definovat způsob označení a manipulaci s jednotlivými typy dat perzistentního objektu jako jsou například číselné hodnoty nebo textové řetězce. Návrh Nodes API včetně UML diagramů je popsán v dokumentu [8].



Obrázek 34: Třídní diagram manažera sond



Obrázek 35: Diagram aktivit manažera sond



Obrázek 36: Ukázka grafického okna manažera sond

6 Zhodnocení dosažených výsledků

6.1 Použitá snímací zařízení

6.1.1 3D modelovací program Blender

Blender je software distribuovaný po GNU GPL licenci a je určen k modelování trojrozměrných scén. Poskytuje možnost přesného nastavení scény i pozice a nastavení kamery simulující pořízení skutečného snímku a zachycení perspektivního jevu [6]. Byl použit k vytvoření umělých testovacích snímků.

Snímky vytvořené pomocí modelovacího nástroje umožní posoudit chování kalibrace za ideálních podmínek.

Nastavení sondy Snímek není zkreslen distorzí objektivu, zorný úhel a ohnisková vzdálenost je dána nastavením kamery v modelu.

- oříznutí shora [px] = 0, oříznutí zleva [px] = 0, šířka čtverce [px] = 0
- hlavní zakřivení = 0,0, zakřivení okrajů = 0,0, síla distorze = 0,0
- zorný úhel [°] = 29.684, ohnisková vzdálenost [mm] = 6

6.1.2 Endoskop

K získání laboratorních snímků byl použit endoskop Olympus GIF-H180, který se používá při skutečných vyšetřeních. Pomoci takto získaných snímků bude možné posoudit výsledky kalibrace snímků reálného prostředí, na které působí reálné nežádoucí vlivy.

Tento endoskop nemá žádné možnosti změny nastavení objektivu, tudíž byl pro tento přístroj vytvořen jeden reprezentující objekt konfigurace, který byl při kalibraci použit na všechny jím pořízené snímky.

Nastavení sondy Všechny hodnoty byly vypočítány pomocí analýzy laboratorních testovacích snímků postupem podle kapitoly 4.6.

Oříznutí bylo nastaveno pro odstranění různě širokého černého okraje jednotlivých stran a vytvoření čtvercového snímku. Koeficienty radiální distorze byly nastaveny tak, aby v centrální oblasti snímku bylo nejmenší zkreslení.

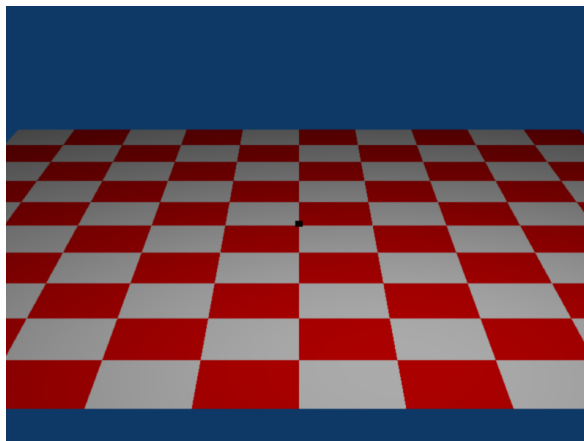
Poznámka 6.1 Tabulka výrobce endoskopu, dodávaná zdravotnickému zařízení, obsahuje pouze údaj o zorném úhlu. Odstraněním distorze objektivu projde snímek značnou transformací, proto při výpočtu není možné použít reálný údaj ale musí být použita hodnota zorného úhlu, která je výsledkem analýzy podle kapitoly 4.6.

- oříznutí shora [px] = 97, oříznutí zleva [px] = 24, šířka čtverce [px] = 530
- hlavní zakřivení = 0,5, zakřivení okrajů = 0,1, síla distorze = 0,3
- zorný úhel [°] = 55,8, ohnisková vzdálenost [mm] = 10

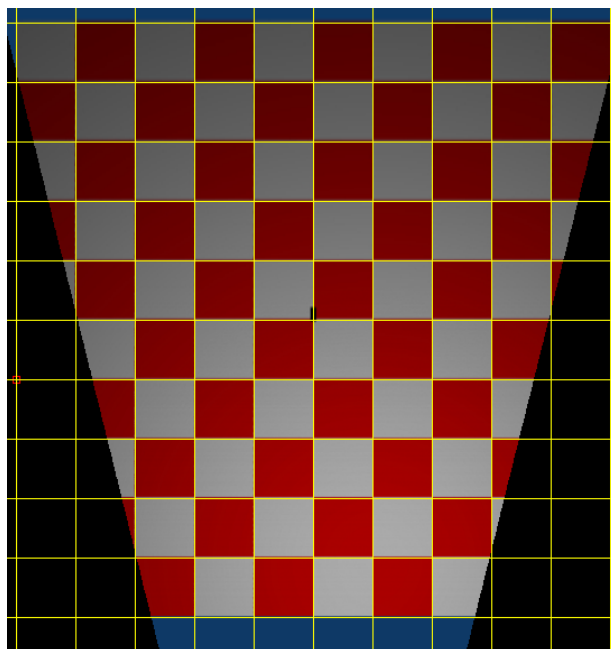
6.2 Výsledky kalibrace

6.2.1 Kalibrace uměle vytvořených testovacích snímků

Byla vytvořena virtuální trojrozměrná scéna obsahující pouze jednu plochu, na které byla souměrně rozprostřena červenobílá pravidelná šachovnice. Dále bylo do modelu umístěno několik kamer, pro získání různých pohledů na zájmovou plochu se známými atributy. Snímky byly vytvořeny vygenerováním jednotlivých náhledů kamer na plochu.



Obrázek 37: Původní uměle vytvořený plošný snímek



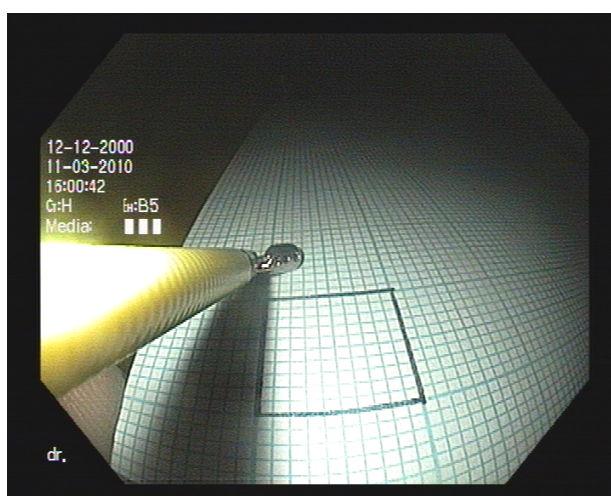
Obrázek 38: Kalibrovaný uměle vytvořený plošný snímek

6.2.2 Kalibrace laboratorních snímků

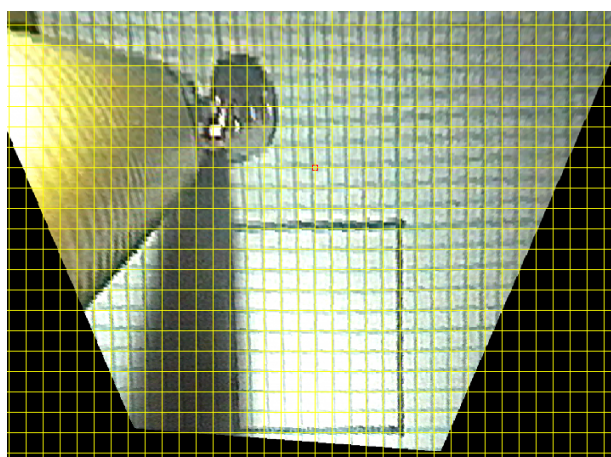
Pro účely hodnocení byla vytvořena sada laboratorních snímků, zachycující rovnou plochu, na které je rozprostřen milimetrový papír. Snímky byly ručně vytvořeny reálným endoskopem Olympus GIF-H180 přímo na endoskopickém pracovišti za asistence personálu.

Každý snímek milimetrového papíru byl proveden podle předem naplánované vzdálenosti a nastaveným úhlem. Pořízené snímky jsou obsaženy v příloze A včetně nastavených hodnot, které byly při pořízení použity.

Použitím milimetrového papíru bylo dosaženo snadnější orientace na snímku a jednoduššího způsobu posuzování výsledku kalibrace.



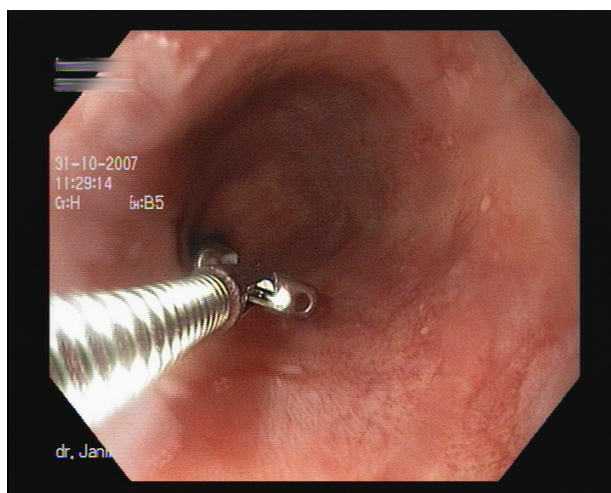
Obrázek 39: Původní laboratorní plošný snímek



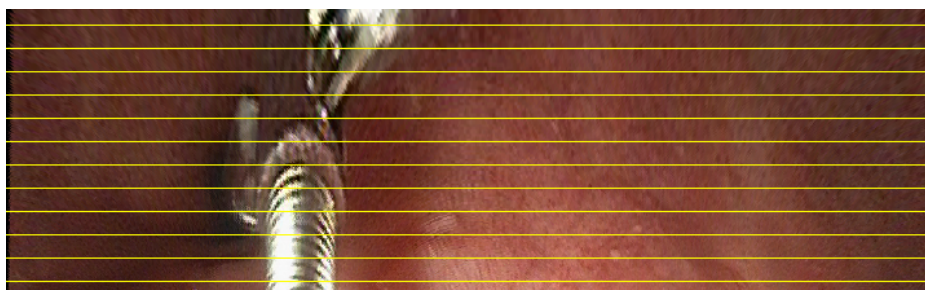
Obrázek 40: Kalibrovaný laboratorní plošný snímek

6.2.3 Kalibrace reálných snímků dutin

K dispozici byla sada snímků reálných tělních dutin z běžného vyšetření. Snímky byly vytvořeny stejným endoskopem, který byl použit pro tvorbu laboratorních snímků. Pro kalibraci byla použita metoda kalibrace snímku dutiny a střed kalibrace byl umístěn na střed snímku.



Obrázek 41: Původní snímek dutiny



Obrázek 42: Kalibrovaný snímek dutiny

6.3 Dosažené výsledky

Provádění kalibrací probíhalo na větším množství snímků, zde jsem vybral pouze reprezentanty jednotlivých případů.

6.3.1 Praktické vyhodnocení

Uměle vytvořený snímek (šablona) kalibrace umělého plošného snímku znázorněná na obrázcích 37 a 38 proběhla bez znatelných odchylek. Výsledná šachovnice je rozvržená

přesně do mřížky s proporcemi 53 na 53 pixelů. Snímky z ideálního přesně známého prostředí jsou tedy přesně kalibrovány.

Laboratorní snímek kalibrace laboratorních snímku znázorněných na obrázcích 39 a 40 vykazuje slabé odchylky. Mřížka, která nejlépe odpovídá původním milimetrovým čtvercům má proporce 20 na 24 pixelů.

Snímek dutiny kalibrace snímku dutiny znázorněného na obrázcích 41 a 42 rovněž vykazuje jen slabé odchylky. Předmětem hodnocení zde byly stříbrné prstence ramena sondy, které mají stejné rozestupy. Rozestupu prstenců nejlépe odpovídala vzdálenost 9,5 pixelu, na obrázku 42, proto je znázorněna každá druhá linie s rozestupem 19 pixelů.

6.3.2 Potvrzení správnosti metody kalibrace

Potvrzení správnosti metody kalibrace Správnost metody byla ověřena přesnou kalibrací umělých snímků.

Potvrzení správnosti postupu analýzy Správnost postupu analýzy snímků uvedená v kapitole 4.6 byla potvrzena dobrými výsledky kalibrace laboratorních snímků. Uvedené použité atributy endoskopu byly analýzou vypočítány pouze nad čtyřmi různými známými testovacími snímky a následně zprůměrovány.

Odchylka, která se vyskytla při kalibraci, může být zmenšena zpřesněním průměrných hodnot analýzou většího množství snímků. Chyba mohla být také vnesena při samotném vytváření toho laboratorního snímku, protože ruční vytvoření pohledu přesně pod určitým úhlem je z vlastní zkušenosti velmi obtížné, nicméně v praxi bude tento úhel odhadován pouze na základě zkušeností uživatele.

7 Závěr

V diplomové práci jsem se seznámil se stávajícím kalibračním systémem FOTOM 2008, který byl vyvinut na katedře informatiky FEI VŠB TU Ostrava a analyzoval a popsal jeho stávající možnosti.

Ve spolupráci s primářem endoskopického pracoviště MUDr. Ondřejem Urbanem jsem se seznámil s metodou a prostředky endoskopického vyšetření. Analyzoval jsem možnosti přístroje a navrhl postup definice zájmové plochy využitím specifických vlastností endoskopu, který lze použít i v prostředí tělní dutiny.

S využitím poznatků optiky, deskriptivní geometrie a endoskopu jsem navrhl novou metodu kalibrace snímků. Nová metoda kalibrace přináší navíc možnost odstranění distorzí objektivu ze snímku a využívá systém atributů, který má vazbu na skutečné veličiny působící při vytváření snímku. Na základě analýzy možností systému FOTOM 2008 byla metoda navržena tak, aby zahrnovala možnost kalibrace plošného snímku i snímku dutiny a tím umožnila zcela nahradit stávající metodu. Navržený postup nové kalibrace omezuje působení lidského faktoru při definici atributů, úplně ho však neodstraňuje, protože velikost úhlu naklonění zájmové plochy v případě kalibrace plošných snímků závisí pouze na lidském odhadu.

Byl navržen a ověřen postup jak analyzovat snímky a vypočítat potřebné atributy optického přístroje pro všechny fáze kalibrace zahrnující odstranění distorze objektivu a odstranění perspektivy.

V rámci této práce byl o získané poznatky rozšířen nově vyvíjený modulární fotogrammetrický systém FOTOM 2009 katedry informatiky FEI VŠB TU Ostrava. Na základě analýzy představ uživatelů a požadavků na způsob zadávání atributů kalibrace bylo implementováno kalibrační prostředí, které umožňuje zobrazit snímek, vybrat přednastavení přístroje a prostřednictvím palety nástrojů graficky zvolit kalibrační nástroj a pomoci nastavení atributů poskytované nástrojem definovat zbylé atributy kalibrace, které jsou závislé pouze na konkrétním snímku. Mechanismus zobrazení snímku a výběru nástroje se shoduje s již existující částí pro definici objektů, tím bylo dosaženo intuitivního používání kalibrace uživateli, kteří již se systémem pracují. Modul kalibrace nabízí také jednoduché API, kterým umožňuje přístup k jeho transformačním funkcím i ostatním modulům systému FOTOM 2009. Dále jsem analyzoval jádro systému a implementoval jeho rozšíření tak, aby poskytovalo všem modulům možnost ukládání atributů snímku.

Správnost návrhu a implementace kalibrační metody jsem potvrdil využitím implementovaného systému k provedení kalibrace umělých snímků, které byly vytvořeny ve virtuálním prostředí počítačového trojrozměrného modelu i k provedení kalibrace reálných snímků, které byly vytvořeny za použití prakticky využívaného vyšetřovacího přístroje v prostředí laboratoře i tělní dutiny. Při hodnocení výsledků kalibrace reálných snímků se vždy projevil odchylky. Zájmové objekty tak nelze s přesností změřit ale lze je změřit pouze s chybou. Použitelnost implementovaného systému v medicíně je však zachována ukládáním atributů u snímku, díky kterým mohou být pro stejného pacienta a pro stejné místo využity stejné atributy kalibrace jako u předchozího snímku. To zajistí provedení stejné transformace a projevení podobné chyby. Porovnání nového a předchozího výsledku měření umožní lékaři sledovat změny velikosti nálezu.

Výsledkem je komplexní systém poskytující uživateli možnost zpracování prostorových snímků, které lze pomoci kalibrace transformovat a následně s nimi dále pracovat a využít všechny existující možnosti pro fotogrammetrické zpracování. Systém využívá moderní softwarové prostředky a nabízí přehledné a jednoduché grafické uživatelské rozhraní.

8 Literatura

- [1] Ličev, L.: *Systém FOTOM 2008 a vizualizace procesu měření* Ed. Ing. Kateřina Pešková. Ostrava: TANGER, spol. s.o.. 2009. 2009: 1. 35-35. VŠB TU Ostrava, HGF, Institut geoinformatiky. ISBN 978-80-87294-00-0,
- [2] Ličev, L., Krumnikl, M.: *Evaluation Of Endoscopic Images In System Fotom 2008, Image Calibration And Transformation* Ed. P. Koči, P. Smutný, L. Smutný. FS VŠB TUO. 2009. XXXIV: 1. 29 s. katedra ATŘ FS VŠB TUO. ISBN 80-248-2011-8,
- [3] Šonka M., Hlaváč V., Boyle R.: *Image Processing, Analysis, and Machine Vision* PWS Boston, USA, 1999
- [4] Lukáš Krahulec: *Počítačové zpracování fotografie* FEI VŠB TU Ostrava, katedra informatiky, 2009
- [5] V. Chalupický: *Počítačová grafika Geometrické transformace diskrétního obrazu* [online]. 2010 [citováno 19.dubna 2010] Dostupné na: <<http://kmlinux.fjfi.cvut.cz/haiduada/pogr-05-transformaceobrazu.pdf>>
- [6] K. G. Nyman: *REAL-WORLD CAMERA AND SCENE MATCHING IN BLENDER - Part II* [online]. 2007 [citováno 2. února 2010] Dostupné na: <<http://home.metrocast.net/~chipartist/BlensesSite/Part2.html>>
- [7] Netbeans.org: *Lookup Library - The Solution to Communication Between Components* [online]. 2010 [citováno 2. března 2010] Dostupné na: <<http://openide.netbeans.org/lookup/>>
- [8] Sun Microsystems, Inc.: *Nodes API* [online]. 2010 [citováno 19.dubna 2010] Dostupné na: <<http://bits.netbeans.org/dev/javadoc/org-openide-nodes/org/openide/nodes/doc-files/api.html>>
- [9] Sun Microsystems, Inc.: *Programming in Java Advanced Imaging* [online]. 2010 [citováno 19.dubna 2010] Dostupné na: <<http://java.sun.com/products/java-media/jai/forDevelopers/jai1.0.1guide-unc/index.html>>
- [10] Wikimedia Foundation, Inc.: *Distortion (optics)* [online]. 2010 [citováno 29.března 2010] Dostupné na: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_\(optics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_(optics))>
- [11] Roman Kubínek: *Endoskopie - lékařská přístrojová technika* [online]. 2010 [citováno 1. května 2010] Dostupné na: <<http://apfyz.upol.cz/ucebnice/details/endoskopie.pdf>>

A Přílohy uloženy na CD

- zdrojové kódy
- program
- uživatelská příručka
- programátorská příručka
- vytvořené laboratorní snímky s popisem